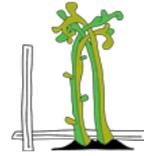




Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und Naturgefahren
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau



Grüne Gleise für Graz

Optimierung einer Saatgutmischung für eine
vegetationsstabilisierte, versickerungsfähige und befahrbare
Befestigung von Straßenbahngleiskörpern am Beispiel der
Conrad von Hötzendorfstraße in Graz

Diplomarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur
in der Studienrichtung Landschaftsplanung und Landschaftspflege

Eingereicht von
Sarah Neidhart

Betreuer:
O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth

Mitbetreuung:
DI Bernhard Scharf
Univ. Ass. DI Dr. Ulrike Pitha

Wien, Oktober 2010

Danke...

Ich möchte mich auf diesem Weg bei allen bedanken, die mich während meiner Studienzeit unterstützt und zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Besonders möchte ich mich bei DI Bernhard Scharf und DI Dr. Ulrike Pitha für die freundliche Betreuung und die Unterstützung bei der Datenerhebung bedanken.

KURZFASSUNG

Schotterrasen ist eine begrünbare Flächenbefestigung aus einem 20 - 30 cm starken Schotterkörper, der bei gering belasteten Verkehrsflächen eingesetzt werden kann. Dazu zählen Parkplätze oder wenig frequentierte Zufahrten, wo sich diese Befestigungsmethode als eine ökologische Alternative zum Asphalt bereits bewährt hat. Auch bei der Begrünung von Straßenbahngleisen kann Schotterrasen zum Einsatz kommen. Auf besonderen Bahnkörpern, die nur von Einsatzfahrzeugen benutzt werden, bietet sich diese versickerungsfähige und begrünte Oberflächenbefestigung an.

Im Zuge eines Versuchsprojekts des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien in Kooperation mit der Stadtbaudirektion Graz entstand eine Versuchsstrecke, die aus zwei verschiedenen Baustoff-Recycling-Aufbauvarianten der Vegetationstragschicht besteht. Darauf wurden drei Saatgutmischungen getestet, die im Vorfeld dieser Arbeit entwickelt worden sind. Dabei handelt es sich um eine „Artenreiche,“ eine „Trockenheitsresistenz optimierte“ und eine „Gräserreiche“ Saatgutmischung.

Ziel dieser Arbeit ist es, Empfehlungen für eine Saatgutmischung und den Aufbau der Vegetationstragschicht zu entwickeln, die einen Begrünungserfolg gewährleisten. Dazu wurden vegetationstechnische und geotechnische Untersuchungen angestellt. Mithilfe von Vegetationsaufnahmen konnten Gesamtdeckungsgrade, Einzeldeckungsgrade und Gräser-Kräuter Verhältnisse auf der Versuchsfläche ermittelt werden. Die Interpretation der Ergebnisse wurde durch die Prüfung der Keimfähigkeit des Saatguts unterstützt. Zur Feststellung der Eignung der Aufbauvarianten diente zusätzlich die Untersuchung der Tragfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit der Vegetationstragschichten.

Die Arten *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Poa compressa*, *Achillea millefolium* und *Plantago media* eignen sich besonders gut für die Gleisbegrünung. Für den Aufbau der Vegetationstragschicht hat sich ein zweischichtiger Aufbau aus Baustoff-Recyclingmaterial der Korngröße 0/32 bewährt. Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine Optimierung der Artenreichen Saatgutmischung, die sich als am besten geeignet erwiesen hat. Durch die Anpassung der

Mischungsverhältnisse der einzelnen Arten entstand eine Saatgutmischung, deren Artenzusammensetzung an die Anforderungen des Standorts und der Vegetationstragschicht angepasst sind.

ABSTRACT

Gravel turf is a plantable paved area which is suited for circulation areas of less frequent use such as parking lots. For this purpose it has become an ecological alternative construction method to asphalt coating. It is also a possible method for implementing a vegetation system in tram tracks. Special tracks, separated from other traffic can be paved in an unsealed and green way that is permeable to water .

In a project of the Institute of Soil Bioengineering and Landscape Construction at the University of Natural Resources and Life Sciences Vienna in cooperation with the Stadtbaudirektion Graz a test site was constructed. The design parameters were two different vegetation base layers of recycled building material and three different seed mixtures. A mixture rich in species, a mixture adapted to aridity and a mixture rich in grass species.

The aim of this thesis is to develop recommendations for a seed mixture and a base layer that help to provide a successful plant covering. For this purpose tests in vegetation engineering and geotechnics were conducted. Vegetation analysis implemented on the test site helped to identify the degree of total dominance, individual dominance and grasses-herbs ratio. A test of the germination capacity of the seeds supported the interpretation of the results. To find out the suitability of the vegetation base layers the inspection of the load bearing capacity and the water permeability of the vegetation base layers provided additional information.

The species *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Poa compressa*, *Achillea millefolium* and *Plantago media* showed to be well qualified for the greening of tram tracks. A vegetation base layer in a two layer system with recycled building material graded 0/32 can be recommended for that use. The result of this thesis is an improvement of the species-rich mixture, which has proved to be suited best for the purpose. With the adaptation of the mixture ratio the new seed assortment is composed of plants suitable for the site and the vegetation base layer.

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	4
ABSTRACT	5
1. EINLEITUNG	8
1.1. Problematik der Flächenversiegelung und Auswirkungen auf das Stadtklima	9
1.1.1. Flächenversiegelung	9
1.1.2. Wasserhaushalt	10
1.1.2. Stadtklima	11
1.1.4. Begrünung.	12
1.2. Beschreibung des Forschungsprojekts „Grüne Gleise für Graz“	14
1.3. Überblick der Diplomarbeit	15
1.3.1. Zielsetzungen und Fragestellungen.	15
1.3.2. Aufbau und Inhalt der Arbeit.	16
1.4. Begriffsdefinitionen	18
1.4.1. Schotterrasen	18
1.4.2. Straßenbahn-Gleisbegrünung.	20
2. UNTERSUCHUNGSGEBIET UND VERSUCHSSTRECKE.	28
2.1. Beschreibung des Standortes in Graz	28
2.2. Klima der Stadt Graz	31
2.3. Beschreibung der Versuchsanlage	34
2.4. Beschreibung des Recyclingmaterials und der Aufbauvarianten.	35
2.5. Einbau der Versuchsstrecke im Mai 2009	40
3. SAATGUT	42
3.1. Erstellen von Saatgutmischungen	42
3.2. Beschreibung der verwendeten Pflanzenarten.	43
3.3. Beschreibung der verwendeten Saatgutmischungen	50
3.4. Aufbringung des Saatguts	53
4. VEGETATIONSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN - METHODIK UND ERGEBNISSE	55
4.1. Keimfähigkeitsprüfung	55
4.1.1. Einkeimung	56
4.1.2. Auszählung	58
4.1.3. Ergebnisse der Keimfähigkeitsprüfung	61

4.2. Erhebung der Gesamtdeckungsgrade	62
4.2.1. Beschreibung der visuellen Deckungsschätzung	62
4.2.2. Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade im Oktober 2009	63
4.2.3. Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade im Mai 2010	64
4.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse	65
4.3. Erhebung der Einzeldeckungsgrade	66
4.3.1. Beschreibung der Point-Line Methode	66
4.3.2. Ergebnisse der ersten Vegetationsaufnahme im Oktober 2009	69
4.3.3. Ergebnisse der zweiten Vegetationsaufnahme im Mai 2010	77
4.3.4. Zusammenfassung der Ergebnisse	84
4.4. Erhebung des Gräser-Kräuter Verhältnisses	91
4.4.1. Ergebnisse des Gräser-Kräuter Verhältnisses im Oktober 2009	92
4.4.2. Ergebnisse des Gräser-Kräuter Verhältnisses im Mai 2010	93
4.4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse	94
4.5. Zusammenfassung aller Vegetationsergebnisse	94
5. GEOTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN - METHODIK UND ERGEBNISSE	96
5.1. Erhebung der Tragfähigkeit	96
5.1.1. Ermittlung der Tragfähigkeit mittels dynamischen Lastplattendruckversuch	97
5.1.2. Ergebnisse der Tragfähigkeitsmessungen	98
5.2. Erhebung der Wasserdurchlässigkeit	100
5.2.1. Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit mittels Ausschüttversuch	100
5.2.2. Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsmessungen	101
6. DISKUSSION UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRAXIS	103
7. QUELLENVERZEICHNIS	111
7.1. Literaturverzeichnis.	111
7.2. Internetquellen	114
7.3. Auskunftspersonen	116
8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	117
9. ANHANG	123
9.1. Interview mit DI Thomas Fischer	123
9.2. Aufnahmeprotokolle	126

1. EINLEITUNG

Diese Arbeit ist Teil des Forschungsprojekts „Grüne Gleise für Graz“, welches in Kooperation mit der Stadtbaudirektion Graz und den Grazer Stadtwerken für kommunale Dienste (Graz AG) vom Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien (IBLB) durchgeführt wird.

Das genannte Institut beschäftigt sich seit etwa zehn Jahren mit dem Thema Schotterrasen zur Befestigung verkehrsarmer Flächen. In dieser Zeit wurden in Diplom- und Forschungsarbeiten verschiedene Aufbauweisen, Materialzusammensetzungen und Saatgutmischungen erforscht und Pflegemaßnahmen formuliert. In der Arbeit von Monika HAAS und Isabella SCHILD (2003) werden Vegetations- und Geotechnische Eigenschaften verschiedener Aufbauten auf zwei Versuchsanlagen in Wien getestet. Diese ersten Versuche des Instituts wurden durch Diplomarbeiten von Simone LÄNGERT (2004) und Stefan MASLOWSKI (2007) weitergeführt und die Schotterrasenbauweise optimiert. Im Jahr 2006 begann das zweijährige EU-Projekt „Green Concrete“, koordiniert durch das Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. Ziel des Projekts war es Richtlinien für die Schotterrasenbauweise zu entwickeln. Im Zuge dieses Projekts wurden in der Diplomarbeit von Alexander LEITNER (2007) Recyclingbaustoffe auf ihre Pflanzenverträglichkeit getestet und bei Petra HASLGRÜBLER (2008) eine optimierte Saatgutmischung für den Einsatz bei Schotterrasen entwickelt.

Die Ergebnisse der Forschungen der letzten Jahre sind Empfehlungen für den Einbau von Schotterrasen, der sich vor allem für Parkplätze und wenig belastete Zufahrten eignet. Die Verwendung niedrigwachsender Gräser und Kräuter können der periodischen Befahrung standhalten und eine geschlossene Vegetationsdecke ausbilden. Die Einsatzmöglichkeiten sind jedoch nicht auf Flächen des ruhenden Verkehrs beschränkt und können noch ausgeweitet werden.

Diese Diplomarbeit soll die Anwendbarkeit einer Schotterrasenbauweise bei der Begrünung von Straßenbahngleiskörpern überprüfen. Auf einer Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz wurde im Mai 2009 eine bestehende Gleisbegrünung mit Rasengittersteinen durch eine

Schotterrassenbauweise aus Baustoff-Recyclingmaterial ersetzt. Dort werden auf zwei verschiedenen Aufbauvarianten drei Saatgutmischungen auf ihre Eignung getestet.

1.1. Problematik der Flächenversiegelung und Auswirkungen auf das Stadtklima

Da Städte komplexe, reichstrukturierte Gebilde sind, entstehen unterschiedliche kleinklimatische Verhältnisse, die sich zu einem Gesamtklima zusammenfügen. Im Allgemeinen sind Städte wärmer als ihr Umland, sie bilden sogenannte Wärmeinseln.

Die Gründe dafür sind anthropogene Wärmeerzeugung, vermehrte Schmutz- und Staubpartikel in der Luft, welche die Wärmeabstrahlung verhindern, und vor allem Überbauung und damit Versiegelung des natürlichen Bodens. Im Folgenden soll genauer auf die Probleme der Flächenversiegelung eingegangen und die Frage erörtert werden, welche Auswirkungen diese auf den Wasserhaushalt und das Klima von Städten hat. Anschließend werden die positiven Wirkungen von begrünten Flächen dargelegt.

1.1.1. Flächenversiegelung

Die Flächenversiegelung in Österreich nimmt zu. Laut UMWELTBUNDESAMT (2010) werden pro Tag rund 12 Hektar Fläche durch Siedlungs- und Verkehrstätigkeit versiegelt. Unter Versiegelung versteht man die starke Verdichtung und Bedeckung des Bodens mit mehr oder weniger undurchlässigen Materialien (BENEKE 2003). Der Versiegelungsgrad (prozentualer Anteil der versiegelten Fläche an der gesamten Bodenfläche) in Städten kann in Innenstädten und Industriegebieten über 90% erreichen (HÄCKEL 2005). GEIGER et al. (2009) geben den Versiegelungsgrad von Stadtzentren mit 95%, den von Gewerbegebieten mit 80 - 90% an.

Diese starke Überbauung des natürlichen Bodens hat massive Auswirkungen auf das ökologische Gleichgewicht, weil die Austauschprozesse zwischen Luft und Boden mehr oder weniger unterbunden sind. Die physikalischen und chemischen Vorgänge im Boden werden beeinträchtigt und die Fähigkeit zur Filterung, Pufferung und Transformation von Stoffen vermindert. Die

Bodenneubildung ist somit stark eingeschränkt bis unterbunden. Pflanzen und Tiere finden auf stark versiegelten Böden praktisch keine Lebensgrundlage vor und können nicht überleben. Die Versiegelung führt außerdem dazu, dass sich der Wasserhaushalt des Bodens bzw. der Stadt verändert (LEXER 2004).

1.1.2. Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt setzt sich aus drei Mechanismen zusammen: Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss. Natürliche Böden können bei Niederschlag große Mengen an Wasser speichern. Ein Teil davon wird dem Grundwasser zugeführt, der Großteil wird jedoch über die Verdunstung und Transpiration in den Kreislauf zurückgeführt. Nur ein kleiner Teil der auf den Boden auftreffenden Niederschlagsmenge gelangt über den Oberflächenabfluss direkt in die Fließgewässer. Der andere Teil gelangt über das Grundwasser, wenn überhaupt, nur verzögert ins Gewässernetz (HERZER 2004). Bei GEIGER et al. (2009) wird der Oberflächenabfluss auf unbefestigten, mit Vegetation bedeckten Flächen mit 0 - 20 % des gefallen Niederschlags angegeben. Versiegelte Flächen können kaum bis kein Wasser aufnehmen. Das führt bei Niederschlägen zu einem großen Oberflächenabfluss, der darüber hinaus auf Grund der geringen Oberflächenrauigkeit von versiegelten Flächen sehr rasch erfolgt (siehe Abbildung 1). GEIGER et al. (2009) geben den

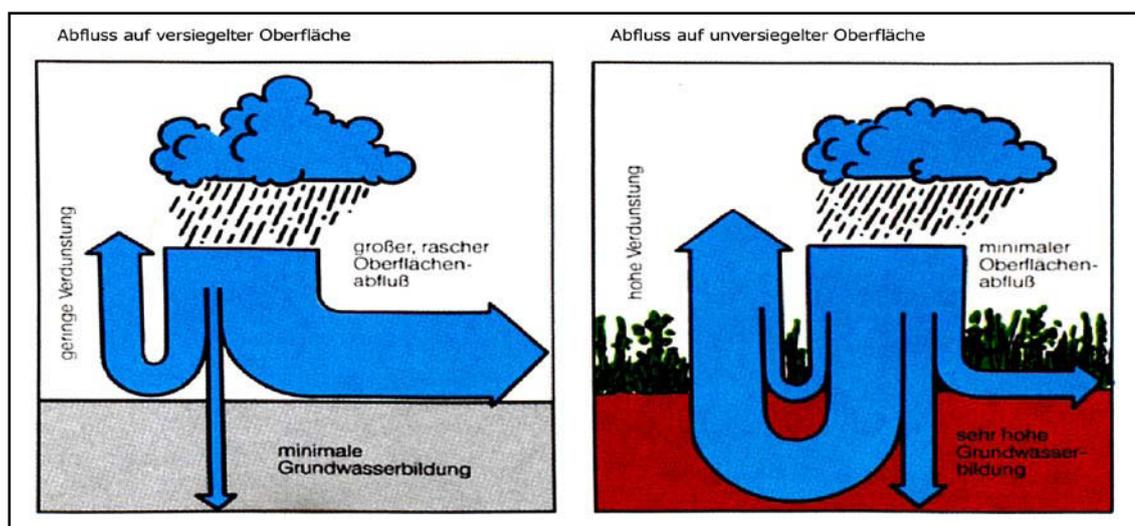


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Oberflächenabflusses auf versiegelten und unversiegelten Flächen. Auf versiegelten Flächen fällt der meiste Anteil des auftreffenden Niederschlags als Oberflächenabfluss an während auf unversiegelten Flächen der meiste Anteil versickern kann und dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt wird (DÜRR 1995).

Abflussanteil auf asphaltierten oder betonierten Flächen mit 90 - 100 % an.

Bei Messungen in Berlin wurde festgestellt, dass auf Asphaltstraßen 72 % des gefallen Niederschlags in die Kanalisation rinnen, 8 % im Erdboden versickern und 20 % verdunsten. Im Gegensatz dazu fallen bei einer mit Rasengittersteinen befestigten Fläche nur 5 % des Niederschlags als Oberflächenabfluss an. Die Versickerung beträgt dabei 50 % und die Verdunstung 45 % (HÄCKEL 2005).

Der erhöhte Oberflächenabfluss auf versiegelten Flächen führt dazu, dass städtische Kanalsysteme überfordert sein können. Vor allem wenn die häuslichen Abwässer im Mischsystem gemeinsam mit dem Niederschlagswasser abgeführt werden, kommt es bei großen Niederschlagsmengen, wegen der großen Mengen an gering verschmutztem Oberflächenwasser, zu Überlastungen der Kläranlagen. Das liegt daran, dass bei Starkregenereignissen die Abwassermenge das Hundertfache der Trockenwassermenge ausmachen kann. Die Folge davon ist, dass Abwässer ungeklärt in die Vorfluter eingeleitet werden und somit das Gewässernetz belasten (HERZER 2004).

Neben der Überlastung der Abwassersysteme steigt außerdem die Hochwassergefahr. Vor allem die Hochwasserwellen kleinerer Flüsse werden durch die Versiegelung städtischer Flächen beschleunigt und erhöht, wodurch die Notwendigkeit zur kleinräumigen Speicherung, Versickerung und Verdunstung des Regenwassers verdeutlicht wird. Die Gestaltung unmittelbar abflusswirksamer Flächen in Städten ist daher eine wichtige Aufgabe im Sinne eines nachhaltigen Umgangs mit Regenwasser (GEIGER et al. 2009).

1.1.3. Stadtklima

Die Auswirkungen der Versiegelung auf den Wasserhaushalt stehen in engem Zusammenhang mit dem Klima in Städten. Die verminderte Möglichkeit zur Verdunstung des Regenwassers führt zu einem Anstieg der Temperatur. Durch die Verdunstung, sei es aktiv über die Transpiration der Pflanzen oder passiv über die Evaporation auf Oberflächen, wird der umgebenden Luft Energie entzogen, man spricht von der sogenannten Verdunstungskälte. Wenn dieser Effekt nicht eintreten kann wird die Energie zur Erwärmung der Luft verwendet. Auf mit Asphalt oder Beton befestigten Flächen kann darüber hinaus viel Wärme gespeichert werden. Da der Straßenunterbau ein guter

Wärmeleiter ist, nimmt er am Tag viel Wärme auf die er in der Nacht wieder abgibt (HÄCKEL 2005).

Die Auswirkungen lassen sich in Zahlen darstellen. Die Temperatur in Städten liegt im Mittel 1-3°C über der Temperatur des Umlands, wobei der Unterschied in der Nacht noch viel deutlicher ausfallen kann (HÄCKEL 2005). Bei HERZER (2004) wird der Anstieg der langfristigen Mittelwerte der Temperatur in einem Baugebiet, im Vergleich zur unbebauten Umgebung, mit 0,2°C pro 10 % Versiegelungsanteil angegeben. Die hohen Temperaturen führen des weiteren dazu, dass die Luftfeuchtigkeit in der Stadt geringer ist als im Umland.

1.1.4. Begrünung

Über ihren Wärme- und Wasserhaushalt haben Pflanzen einen erheblichen Einfluss auf das umgebende Klima. Eine geschlossene Pflanzendecke senkt die Temperatur, erhöht die Luftfeuchtigkeit und mindert außerdem noch die Windgeschwindigkeit. In Abbildung 2 sind die Tagesgänge der Temperatur auf verschiedenen Oberflächen dargestellt. Im Vergleich mit einer asphaltierten Fläche sind die Oberflächentemperaturen auf einer mit Gras bewachsenen Fläche deutlich niedriger.

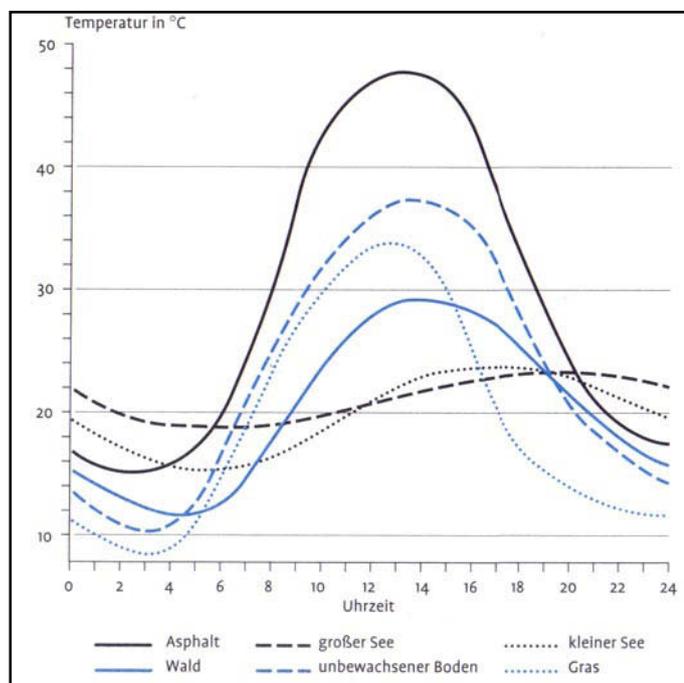


Abbildung 2: Tagesgänge der Temperatur auf verschiedenen Oberflächen. Auf einer mit Gras bewachsenen Fläche sind die Temperaturen deutlich niedriger als auf einer asphaltierten Fläche (HÄCKEL 2005).

Das liegt daran, dass durch die Pflanzendecke der größte Strahlungs- und Energieumsatz nicht direkt am Boden stattfinden kann, sondern je nach Dichte des Bestandes, in einer Höhe zwischen 15 % der Bestandeshöhe und der Bestandesobergrenze. Die Vegetation bildet eine Wärmebarriere, die dazu führt, dass einerseits die Bodenerwärmung geringer wird und andererseits Temperaturextreme je nach Dichte des Bestandes ausgeglichen werden (HÄCKEL 2005). Außerdem tritt wieder die kühlende Wirkung der schon oben besprochenen Verdunstung ein. DÜRR (1995) beziffert die Verdunstungsleistung einer einfachen Intensivbegrünung eines Dachs mit 70 % des gefallenen Niederschlags. Die beschriebene einfache Intensivbegrünung entspricht in Aufbau und Bepflanzung in etwa dem Versuchsaufbau, welcher Gegenstand dieser Arbeit ist.

Bei Untersuchungen über die Auswirkungen von Gleisbegrünungen an bestehenden Systemen in Berlin wurden verschiedene Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse die positiven Auswirkungen der Gleisbegrünungen auf das Kleinklima quantifizieren (HENZE und SIEMSEN 2004). Der dabei festgestellte Abflussbeiwert, der das Verhältnis der jährlichen Regenabflussmenge zu einem Niederschlagsvolumen ausdrückt, lag bei 0,6 im Jahresmittel. Das heißt nur 40 % der auffallenden Niederschläge wurden in die Kanalisation abgeführt. Interessant ist auch die abflussverzögernde Wirkung, die zu einer zusätzlichen Entlastung der Kanalisation bei Starkregenereignissen führt. Bei einem Starkregenereignis von 11,5 mm Niederschlag in 90 Minuten wurde fast die gesamte Menge Regenwasser im System gespeichert. Die spürbaren klimatischen Auswirkungen machen sich in der Verdunstungsleistung bemerkbar. Bei den Untersuchungen in Berlin wurden bis zu vier l/m² tägliche Evaporationsleistung gemessen. Das hat zur Folge, dass Gleisbegrünungen bei sommerlichen Temperaturverhältnissen in engen Straßenschluchten einen wohltuend kühlenden Effekt haben. Des Weiteren wurde die Fähigkeit zur Deposition von Schadstoffen, die aus dem Regenwasser sowie aus der Luft stammen, nachgewiesen. Über die raue Oberfläche der Vegetationsflächen können gesundheitsgefährdende Stäube wie Verbrennungsrückstände fossiler Brennstoffe ausgekämmt und über das Substrat ausgewaschen werden, wodurch die Stadtluft entlastet wird (HENZE und SIEMSEN 2004).

1.2. Beschreibung des Forschungsprojekts „Grüne Gleise für Graz“

Das Forschungsprojekt „Grüne Gleise für Graz“ ist eine Zusammenarbeit des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien mit der Stadtbaudirektion Graz und der Graz AG. Im Zuge des Projekts soll die Anwendbarkeit der Schotterrasenbauweise für Straßenbahn - Gleisbegrünungen getestet werden. Die Graz AG betreibt ein Straßenbahn Schienennetz von 49 km Liniennetz und ca. 32 km Streckennetz, wovon ca. 5 km mit unterschiedlichen Gleisbegrünungen befestigt sind. Gleisbegrünungen werden in Graz wegen der Verbesserung des Mikroklimas, der Verringerung der Bodenversiegelung und der Trennungswirkung für den Verkehr eingesetzt. Begrünte Gleiskörper sind für Autofahrer eine weniger attraktive Ausweichstrecke als asphaltierte Gleiskörper (Thomas FISCHER, mündliche Aussage am 02. 07. 2010).

Die Strecke der Linie 1 von Maria Grün bis Maria Trost ist fast durchgehend als begrüntes Rasengleis auf einem klassischen Schottergleis-System ausgeführt. Der Gleiskörper ist für den motorisierten Individualverkehr und Einsatzfahrzeuge nicht befahrbar und die Vegetation hat genügend Substrat um eine geschlossenen Vegetationsdecke auszubilden. Die Strecken der Linie 4 und der Linie 13 führen über die Conrad von Hötzendorfstraße beim Stadion vorbei nach Liebenau zum Einkaufszentrum Murpark. Von der Grazbachstraße bis zum Stadion Liebenau ist der Gleiskörper abschnittsweise und ab dem Stadion bis zum Einkaufszentrum Murpark auf fast der gesamten Strecke begrünt. Bei diesem Gleiskörper handelt es sich um eine Begrünung mit Rasengittersteinen aus Beton und Kunststoffwaben mit einer anlagebedingt begrenzten Substrathöhe. In der Conrad von Hötzendorfstraße kommt hinzu, dass die Begrünung mit Einsatzfahrzeugen und Schwertransportern befahrbar sein muss und von Abgasen, Reifenabrieb und Streusalz direkt betroffen ist. Aufgrund der Anforderungen an die Befahrbarkeit wurden Rasengittersteine aus Beton verwendet, die jedoch Probleme mit sich bringen. Der Beton heizt sich im Sommer sehr stark auf und trocknet so das umgebende Substrat aus, was zu einem schlechten Begrünungserfolg und in weiterer Folge zu Staubbildung bzw. wegen der schlechten Versickerungsleistung zur Bildung von Wasserlacken führt.

Aufgrund dieser Probleme wurde von der Stadtbaudirektion Graz und der Graz AG nach einer Alternative gesucht, die folgende Vorgaben erfüllen muss:

- dauerhaft versickerungsfähige Fläche
- geschlossene Vegetationsdecke
- befahrbar für Sondertransporte und Einsatzfahrzeuge
- geringe Errichtungs- und Erhaltungskosten

Das Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien wurde 2009 von der Stadtbaudirektion Graz beauftragt in der Conrad von Hötzendorfstraße eine Versuchsstrecke zu errichten, auf der das Schotterrasensystem auf die Anwendbarkeit bei der Gleisbegrünung überprüft wird. Der Vorteil von Schotterrasen gegenüber anderen Begrünungsmethoden ist, dass er sehr günstig in der Herstellung ist und wenig Pflege braucht. Bei Bedarf kann er außerdem ohne großen technischen Aufwand entfernt werden. Bei erfolgreichem Verlauf des Versuchs könnte somit der weitere Einsatz von Schotterrasen auf bestehenden Gleisbegrünungen angedacht werden.

1.3. Überblick der Diplomarbeit

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Saatgutmischung, die den Anforderungen eines extremen Standortes gerecht werden kann und fähig ist eine geschlossene Vegetationsdecke auszubilden. Dazu wurden drei Saatgutmischungen erstellt und auf zwei verschiedenen Aufbauvarianten getestet. Im Folgenden werden die Ziele dieser Arbeit dargestellt und die Methodik erklärt.

1.3.1. Zielsetzungen und Fragestellungen

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die erstellten Saatgutmischungen auf ihre Eignung zu testen und gegebenenfalls die Mischungsverhältnisse anzupassen. Mithilfe von Vegetationsaufnahmen werden die Deckungsgrade und Gräser-Kräuter Verhältnisse der einzelnen Saatgutmischungen bestimmt. Dabei geht es darum herauszufinden, welche Saatgutmischung den Anforderungen, die durch den Standort und den Auftraggeber vorgegeben sind, am besten entspricht. In weiterer Folge soll das Mischungsverhältnis hinsichtlich vegetationsökologischer, pflanzentypischer und ökonomischer

Gesichtspunkte optimiert werden. Ein weiteres Ziel ist herauszufinden, welche Aufbauvariante sich besser bewährt, also günstigere Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum bieten kann. Dazu werden die Tragfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit der Aufbauvarianten ermittelt. Die Beantwortung folgender Forschungsfragen dienen dazu die gestellten Ziele zu erreichen.

- Wie verhalten sich die verschiedenen Saatgutmischungen auf den beiden Aufbauvarianten in Bezug auf Gesamtdeckungsgrad, Einzeldeckungsgrad und Gräser-Kräuter Verhältnis im Verlauf eines Jahres?
- Wie verändern sich die Tragfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit der Aufbauvarianten im Verlauf eines Jahres?

1.3.2. Aufbau und Inhalt der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit werden in einem Grundlagenteil der Stand der Technik von Schotterrasen und Gleisbegrünungen erläutert. Weiters wird der Versuchsaufbau mit den zwei Aufbauvarianten und den drei Saatgutmischungen beschrieben.

Der anschließende Untersuchungsteil gliedert sich in vegetationstechnische Untersuchungen und geotechnische Untersuchungen, deren Ergebnisse in der Diskussion zusammengeführt und als Empfehlungen für die Praxis dargestellt werden.

Im Zuge der vegetationstechnischen Untersuchungen wird eine Keimfähigkeitsprüfung des Saatguts durchgeführt. Vegetationsaufnahmen dienen dazu Deckungsgrade und Gräser-Kräuter Verhältnisse zu ermitteln. Mithilfe der in Kapitel 4.3.1. beschriebenen Point-Line Methode werden die Einzeldeckungsgrade der Pflanzenarten festgestellt um herauszufinden, wie sich die einzelnen Arten im Laufe einer Vegetationsperiode verhalten. Mit der in Kapitel 4.2.1. beschriebenen visuellen Deckungsschätzung werden der Gesamtdeckungsgrad und das Gräser-Kräuter Verhältnis ermittelt. Damit soll festgestellt werden, welche Saatgutmischung bzw. welche Aufbauvariante am ehesten den gewünschten Begrünungserfolg erzielen kann.

Die geotechnischen Untersuchungen dienen als zusätzliche Grundlage bei der Interpretation der Vegetationstechnischen Untersuchungen. Außerdem wird festgestellt, welche Aufbauvariante besser für den Einsatz

bei Gleisbegrünungen geeignet ist. Die Tragfähigkeit der Materialgemische wird mit einer dynamischen Lastplatte des Herstellers ZORN gemessen. Die Wasserdurchlässigkeit wird gemäß RVS 11.062 mittels Ausschüttversuch festgestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind den jeweiligen Kapiteln angefügt und werden im Diskussionsteil zusammengefasst und besprochen. In Abbildung 3 ist der Aufbau der Arbeit im Überblick dargestellt.

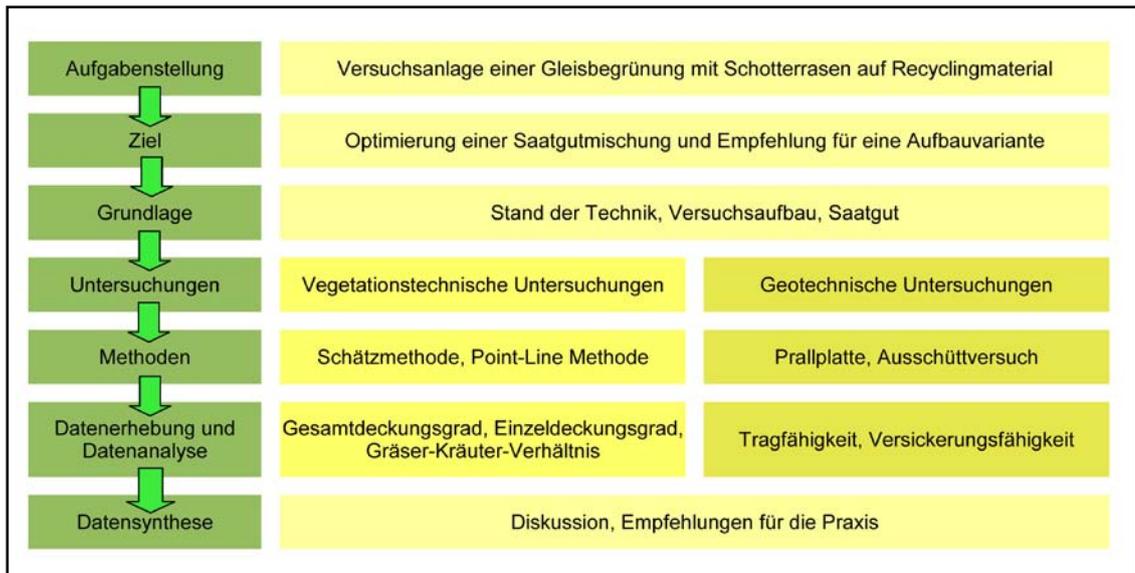


Abbildung 3: Schematischer Überblick über den Aufbau der vorliegenden Diplomarbeit.

1.4. Begriffsdefinitionen

Als Grundlage für die folgenden Untersuchungen sollen die Begriffe Schotterrassen und Straßenbahn-Gleisbegrünung erläutert und der jeweilige Stand der Technik beschrieben werden. Es geht darum, Potentiale und Grenzen sowie Vor- und Nachteile der verschiedenen Techniken darzustellen.

1.4.1. Schotterrassen

Bei Schotterrassen handelt es sich um eine begrünte Flächenbefestigung, die gleichzeitig Ansprüchen an Tragfähigkeit und Versickerungsfähigkeit gerecht wird. In den Richtlinien für Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen, (Ausgabe 2008) der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL) werden verschiedene Anwendungsbereiche genannt, die vor allem Flächen des ruhenden Verkehrs oder gering belastete Verkehrsflächen betreffen (FLL 2008). Gut funktionierende Schotterrassenflächen können einen positiven Beitrag zur Entsiegelung im urbanen Raum leisten. Sie sind wasserdurchlässig und tragen somit zur Abflussverzögerung und Rückhaltung von Niederschlägen bei. Mithilfe der Vegetation wird das Kleinklima verbessert und Lebensräume für Kleinlebewesen geschaffen.

Schotterrassen besteht aus einer Vegetationstragschicht aus Gerüstbaustoffen, die mit Kompost oder Humus vermischt werden. Als Gerüstbaustoffe kommen Natur-Schotter oder Baustoff-Recyclingmaterialien in Frage, deren Sieblinie feine bis grobe Körnungen aufweist (FLORINETH 2004). In Abbildung 4 ist der empfohlene Sieblinienbereich der Baustoffgemische für Schotterrassen laut FLL (2008) dargestellt.

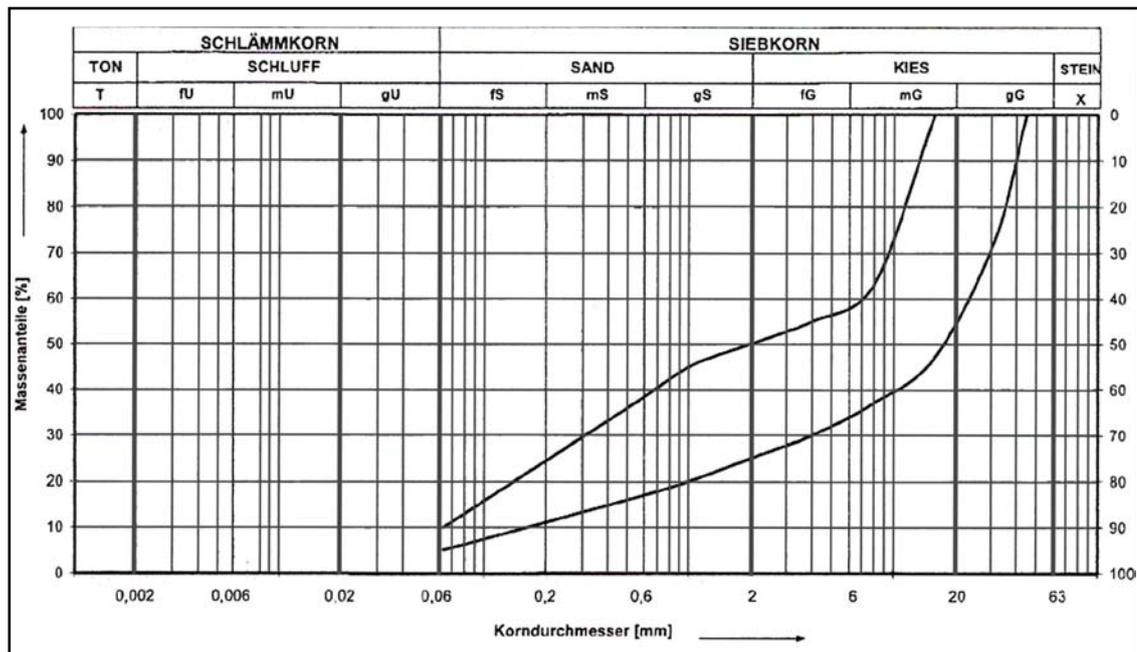


Abbildung 4: Empfohlener Sieblinienbereich der Baustoffgemische für Schotterrasen (FLL 2008).

Der Anteil an Kompost oder Humus in der Vegetationstragschicht sollte 15-20 Vol. % betragen (FLORINETH 2004). Die Vegetationstragschicht kann aus einem einschichtigen oder zweischichtigen Aufbau bestehen. Bei Flächen, die für PKW Verkehr oder zusätzlich für geringen LKW- und Busverkehr ausgelegt sind, wird der einschichtige Aufbau mit Schichthöhen von 15-25 cm und 25-30 cm empfohlen. Flächen, die einer höheren Belastung durch LKW- und Busverkehr ausgesetzt sind, sollten im zweischichtigen Aufbau eingebaut werden (FLL 2008). Die untere Schichthöhe beträgt dabei 20-25 cm und die obere 10-15 cm. Die einschichtige Bauweise sollte jedoch generell der zweischichtigen vorgezogen werden, da bei letzterer die obere Schicht anfälliger gegen Zerstörung ist (FLORINETH 2004). Um eine ausreichende Tragfähigkeit zu erreichen, sollte der Verformungsmodul E_{v2} zwischen 45 und 65 MN/m² liegen. Die angestrebte Wasserdurchlässigkeit k_f soll zwischen $5,0 \times 10^{-5}$ m/s und $5,0 \times 10^{-6}$ m/s liegen (FLL 2008).

Auf die bewalzte Vegetationstragschicht wird eine geeignete Saatgutmischung aufgebracht. In den Richtlinien für Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen wird die Regelsaatgutmischung RSM 5.1 Parkplatzrasen und RSM 7.2 Landschaftsrassen-Trockenlagen empfohlen (FLL 2008). In den Diplomarbeiten von HAAS und SCHILD (2003),

HASLGRÜBLER (2008) und LÄNGERT (2004) am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau wurden verschiedene Saatgutmischungen auf Schotterrasen getestet, wobei eine Mischung aus Trockenheit verträglichen Gräsern und Kräutern mit Leguminosen als am besten geeignet befunden wurde. Durch die Beimischung der stickstoffbindenden Leguminosen entfällt eine ansonsten notwendige Düngung der Vegetation. Die richtige Pflanzenwahl kann die Pflegeextensivität von Schotterrasen noch verstärken, indem kleinwüchsige Arten gewählt werden. Die Vegetationshöhe wird aber auch durch die Benutzung geregelt. Bei zu geringer Benutzung wird die Vegetation zu hoch, bei zu starker Benutzung fällt sie aus. Ein erfolgreich begrünter Schotterrasen muss eine Mindestdeckung von 50 % erreichen. Die FLL (2008) beschreibt den abnahmefähigen Zustand als eine Fläche von gleichmäßigem Bewuchs mit Pflanzen der aufgebrauchten Saatgutmischung, deren projektive Bodenbedeckung 50 % einnimmt.

1.4.2. Straßenbahn-Gleisbegrünung

Bei der Begrünung von Straßenbahngleisen kommen diverse Techniken zum Einsatz. Diese reichen von Rollrasenbegrünungen über Extensivbegrünungen mit Sedumarten bis zu Rasengittersteinen aus Beton oder Kunststoffen, die in den Zwischenräumen begrünt werden. Je nach Einsatzort und unterschiedlichen Anforderungen eignen sich diese Techniken mehr oder weniger gut. Im Folgenden soll ein Überblick geschaffen werden über Gleisbauarten, verschiedene Oberbauformen und Begrünungsarten im Straßenbahnwesen.

Ein Bahnkörper besteht aus Oberbau, Unterbau und Untergrund. Als Oberbau werden im allgemeinen die Bettung, die Schwellen und die Schienen zusammengefasst. Der Unterbau dient dazu Unebenheiten des Untergrunds auszugleichen und beinhaltet Planumsschutzschichten und verdichtete oder verbesserte Dammschüttungen (FIEDLER 2005). Der Oberbau kann verschieden ausgeführt werden. Grundsätzlich gibt es zwei Bauarten: Schottergleise, auch Schotteroberbau genannt, und die „Feste Fahrbahn“. Beim Schottergleis sind die Schienen auf Schwellen befestigt, die in einem Schotterbett liegen, welches die Lastverteilung übernimmt. Die Schwellen können aus Holz, Stahl oder Beton bestehen.

Bei der „Festen Fahrbahn“ wird der Schotter durch ein lagebeständiges Material wie Beton oder Asphalt ersetzt (LICHTBERGER 2003). In Abbildung 5 ist ein Vergleich der beiden Bauweisen dargestellt. Die Entwicklung verschiedener Bauarten der „Festen Fahrbahn“ führte zu mehreren Möglichkeiten der Schienenbefestigung. Diese werden entweder auf Stützpunkten oder kontinuierlich gelagert. Bei der kontinuierlichen Lagerung werden die Schienen in Kunststoff eingegossen oder eingeklemmt. Die Lagerung auf Stützpunkten kann in monolithische und aufgelagerte Systeme unterteilt werden. Bei monolithischen Systemen werden die Stützpunkte bzw. die Schwelle in die Betontragschicht integriert, wie zum Beispiel Schienen auf Längsbalken. Bei aufgelagerten Systemen wird das Gleis auf die Tragschicht gelegt und dann verbunden. Alle dargestellten Systeme sind begrünbar, worauf in diesem Kapitel noch genauer eingegangen wird.

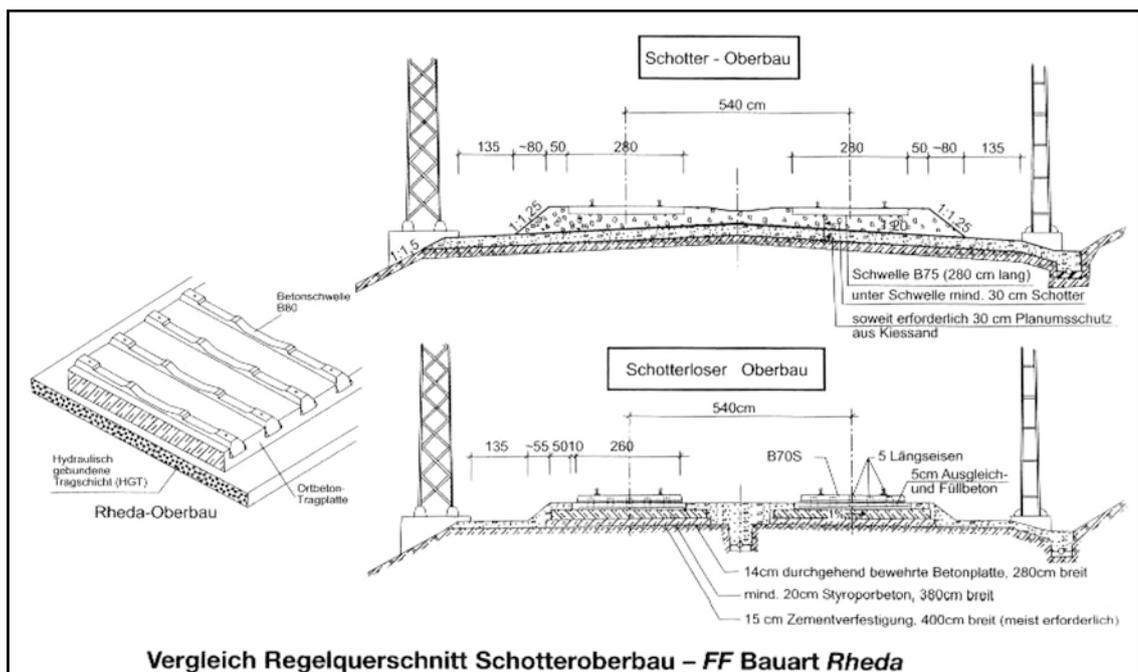


Abbildung 5: Vergleich der Regelquerschnitte des Schotter-Oberbaus und des schotterlosen Oberbaus „Feste Fahrbahn“. Beim Schotter-Oberbau liegen die Schwelle in einem Schotterkörper während bei der „Festen Fahrbahn“ der Schotter durch ein lagebeständiges Material ersetzt wird (LICHTBERGER 2003).

Die Vorteile des Schotteroberbaus sind niedrigere Erstellungskosten und geringere Schallabstrahlung als bei der „Festen Fahrbahn“ (LICHTBERGER 2003). Die Einsatzmöglichkeiten sind jedoch bei Straßenbahnen im städtischen Bereich begrenzt, da der Schotteroberbau einen unabhängigen Bahnkörper voraussetzt. Die „Feste Fahrbahn“ weist ein besseres Langzeitverhalten des Oberbaus bei Reduzierung der Unterhaltungsarbeiten auf. Die Gleise sind leichter sauber zu halten und die Vegetationskontrolle fällt weg, gleichzeitig ist die Begrünung der Gleise einfacher als beim Schotteroberbau. Außerdem sind die Trassierungsmöglichkeiten auf Grund kleinerer Bogenradien und größerer Längsneigungen besser (FIEDLER 2005).

Die Fahrbahn der Schienenfahrzeuge sind die Schienen, die als Lauffläche und zur Spurführung der Räder dienen. Die Schienen sind Walzstahlerzeugnisse und kommen in verschiedenen Schienenformen zur Anwendung, wobei im Straßenbahnwesen vor allem Rillenschienen und seltener Vignolschienen eingesetzt werden. In Abbildung 6 sind diese zwei Schienenformen dargestellt.

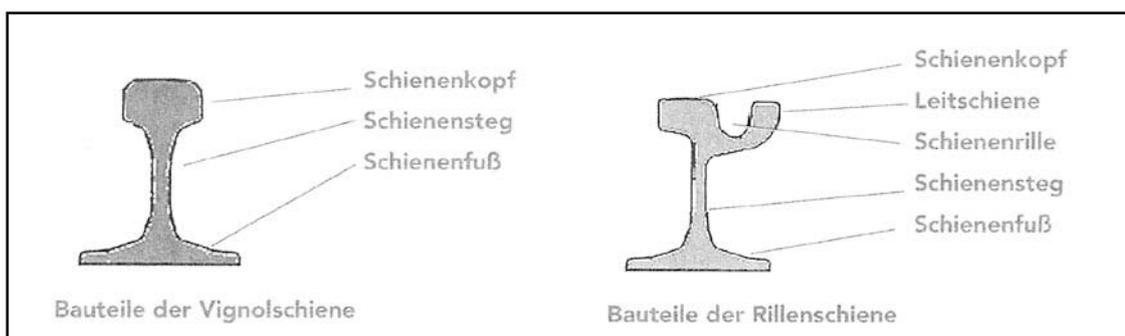


Abbildung 6: Im Straßenbahnwesen verwendete Schienenformen (BACKMANN 2010).

Die Wahl der Schienen ist unter anderem abhängig von der Art des Straßenbahn-Bahnkörpers. Vignolschienen werden hauptsächlich auf unabhängigen Bahnkörpern eingesetzt, die völlig vom übrigen Verkehr getrennt sind, da die Schienen im Allgemeinen nicht bis zur Oberkante eingedeckt werden. Im Stadtbereich auf straßenbündigen Bahnkörpern oder auch auf besonderen Bahnkörpern werden Rillenschienen verwendet, wo das Gleis bis zur Schienenoberkante mit einer Gleiseindeckung versehen werden kann. Auf straßenbündigen Bahnkörpern wird die Bahn gemeinsam mit dem Individualverkehr geführt, während besondere Bahnkörper von der Fahrbahn für den Individualverkehr physisch getrennt werden. Dies kann mit Sperrlinien, Bordsteinen oder ähnlichem geschehen, wobei ein effektives

Fernhalten von Auto- und Radfahrern nur mit unüberwindbaren Hindernissen wie Leitplanken, Hecken oder Baumreihen erreichbar ist. Die Befahrbarkeit von besonderen Bahnkörpern gewährleistet die Mitbenutzung durch Linienbusse und Einsatzfahrzeuge (BACKMANN 2010).

Mit den oben genannten Arten der Bahnkörper bei Straßenbahnen in Zusammenhang stehen die verschiedenen Arten der Eindeckung bei der Begrünung in Zusammenhang. Man kann generell zwischen hohen und niederen Eindeckungen unterscheiden. Bei niederen Eindeckungen liegen die Schienen frei und die Oberflächenbefestigung reicht maximal bis zum Schienenfuß. Hohe Eindeckungen können bei Rillenschienen bis zur Schienenkopfoberkante reichen, wie in Abbildung 7 dargestellt ist.

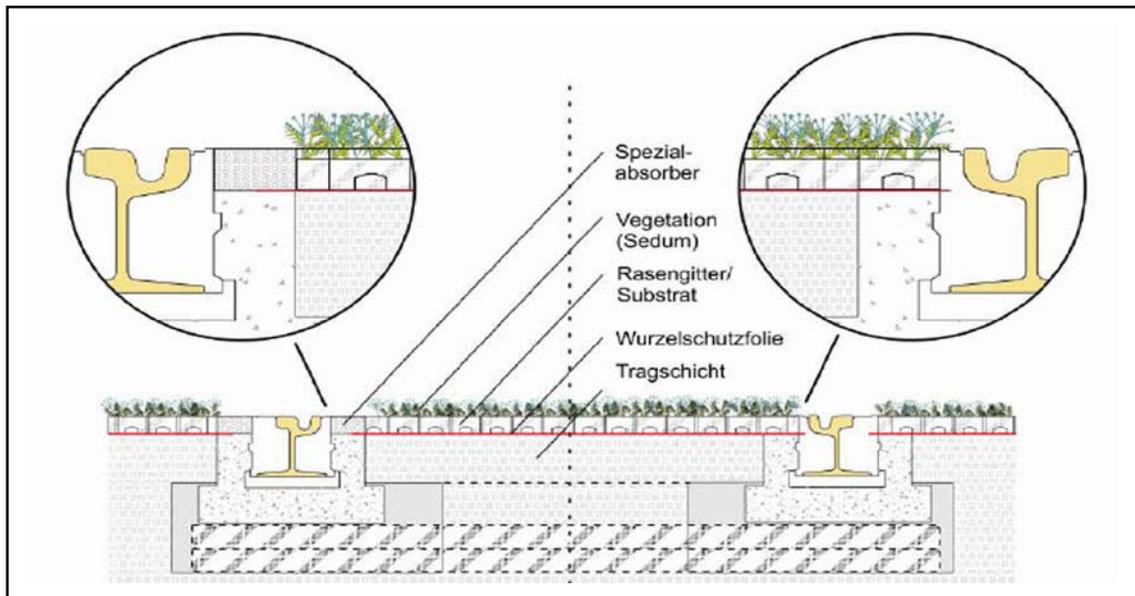


Abbildung 7: Schematische Darstellung einer hohen Eindeckung bei der Rillenschienen-Bauweise mit einer Sedumbegrünung (SCHREITER und RICHETR 2009).

Bei Vignolschienen muss der Schienenkopf frei bleiben, daher reicht die Eindeckung bis maximal zur Schienenkopfunterkante (HENZE 1999). Manche Firmen bieten auch gemischte Formen an wie zum Beispiel die Firma rail.one mit dem System ATD-G. In Abbildung 8 sind die verschiedenen Arten der Eindeckung beim Vignolschienenbau schematisch dargestellt.

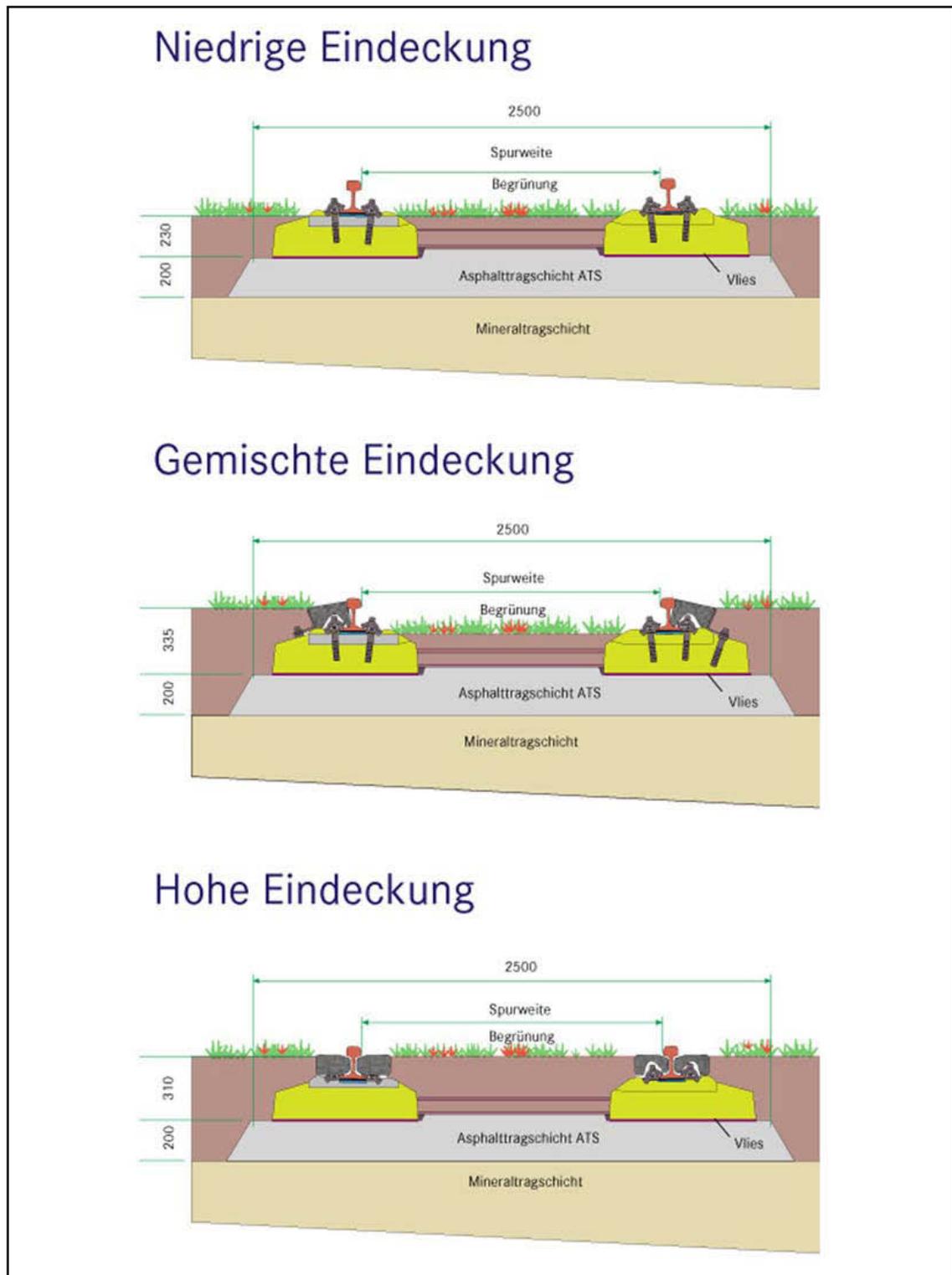


Abbildung 8: Schematische Darstellung der verschiedenen Eindeckungsarten beim Vignolschienenbau der Firma railone® (RAIL.ONE 2010).

Der Einsatz von Gleisbegrünungen beruht auf ökologischen und ökonomischen Überlegungen. Die positiven Einflüsse auf die unmittelbare Umgebung wurden schon in Kapitel 1.1.4. beschrieben. Zusammengefasst sind dies eine Verbesserung des straßenräumlichen Klimas und des Regenwasserhaushalts, sowie eine Verbesserung des Wohn- und Arbeitsumfelds durch das Auskämmen von schadhaften Stäuben aus der Atemluft (HENZE und SIEMSEN 2004). Zusätzlich kommt es zu einer Verringerung der Körper- bzw. Luftschallabstrahlung des Rad-Schiene Systems, was zu einer verbesserten öffentlichen Akzeptanz der Straßenbahn führt. Die Höhe der Schallminderung wird jedoch nicht allein von der Begrünung, sondern vom gesamten Systemaufbau beeinflusst (SCHREITER und RICHTER 2009). Bei Systemen, die eine direkte Dämpfung und Dämmung der schwingenden Bauteile vorsehen, was einer Eindeckung der Gleise bis zur Oberkante des Schienenkopfs entspricht, sind Lärminderungen gegenüber traditionellen Gleisen bis zu 5 Dezibel nachweisbar (KRAMER et al. 1998).

Bei der Begrünung von Straßenbahngleisen wurden im Laufe der Zeit verschiedene Methoden entwickelt. Die am meisten verbreitete ist das sogenannte Rasengleis. Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts wurden aus ästhetischen Gründen, zur Verminderung der Staubentwicklung und der Lärmbelästigung Rasengleise gebaut, wie zum Beispiel 1905 in der Berliner Hardenbergstraße. Prinzipiell besteht der Aufbau aus einer Vegetationstragschicht mit für die Pflanzen geeigneten Substraten und der Rasenvegetation. Gleisoberbauformen, bei der das Vegetationssystem Kontakt zum gewachsenen Boden hat, wie Längsbalkensysteme der „Festen Fahrbahn“, sind günstig für diese Art der Begrünung, da somit eine ausreichende Versorgung mit Wasser und Nährstoffen sichergestellt werden kann. Eine Abgrenzung zum Untergrund ist nicht notwendig. Zur Erleichterung der Zugänglichkeit des Untergrunds werden manchmal Trennschichten eingebaut. Aufgrund des hohen Anspruchs an die Wasserversorgung ist in niederschlagsarmen Gebieten eine Substrathöhe von mindestens 15 cm erforderlich (HENZE und SIEMSEN 2004).

Gesunde und wüchsige Rasengleise sind jedenfalls sehr pflegebedürftig. Die Anforderungen an Wasserversorgung und Nährstoffbedarf gehen stets mit Pflegemaßnahmen wie Schnitt, Düngung und eventuell auch

Bewässerung einher (HENZE 1999). Bei der Pflanzenwahl wird meist auf herkömmliche Rasenmischungen zurückgegriffen, die angesät oder auch als Rollrasen verlegt werden (HOCHÖRTLER 2005). Die Vegetationstragschicht bei Rasengleisen bzw. die Vegetation selbst lassen Befahrbarkeit und Betritt nicht zu. Die Folge davon sind Trampelpfade oder auch großflächiger Vegetationsausfall. Rasengleise sind nur befahrbar, wenn als Gerüstelemente Betongittersteine, Kunststoffwabengitter oder ähnliches verwendet wird. Oder wenn als Begrünung ein Schotterrasen gewählt wird, der durch geeignete Pflanzenwahl und speziellem Aufbau für eine Befahrung geeignet ist. Dieser wirkt jedoch häufig schütter, vor allem nach intensiver Beanspruchung (SCHREITER und RICHTER 2009).

Eine weitere Möglichkeit zur Begrünung von Straßenbahngleisen, die weitgehend ohne Pflegemaßnahmen auskommt, wurde Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts vom Institut für Stadt- und Agrarökologische Projekte an der Humboldt Universität zu Berlin (IASP) entwickelt. Bei der Sedum-Moos Begrünung, auch Gleisbett-Naturierung genannt, werden auf geringmächtigen Vegetationstragschichten (5 cm) trockenresistente und stresstolerante Pflanzenarten aufgebracht, die zudem nur geringe Wuchshöhen erreichen. Bewährt haben sich hierfür Sedum- und Moosarten. Der Wurzelraum wird mithilfe von Wurzelschutzfolien abgegrenzt, wodurch übermäßiges Wachstum und unkontrollierter Wildwuchs vermieden werden kann. In Trockenperioden können die Sedumarten auf ihre Speichermechanismen zurückgreifen und die Moose in ein Ruhestadium verfallen, Fremdarten sterben jedoch ab (KRAMER et al. 1998). Die Pflanzen werden in Form von Ansaaten, Anspritzverfahren oder auch vorkultiviert auf Vegetationsmatten und Rasengittern auf das Substrat aufgebracht. Sedumarten sind jedoch nicht trittresistent, daher ist auch bei diesem System eine Befahrung zu vermeiden. Vom IASP wurde jedoch eine Variante erfolgreich getestet, die auch Befahrung zulässt. Auf Kunststoffrasengittern vorkultivierte Bestände können einer Belastung standhalten, wenn die Substratschicht 1 cm unter der Rasengitteroberkante endet. Somit entsteht ein Raum für die Pflanzen, der nicht zerstört werden kann, abgetrennte Pflanzenteile können darin wieder anwurzeln (SCHREITER und RICHTER 2009).

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Begrüpfungsmöglichkeit von Straßenbahngleisen von der Art des Gleiskörpers und der verwendeten Schienenform abhängt. Gut geeignet sind Gleise auf besonderen Bahnkörpern, aber auch unabhängige Bahnkörper sind prinzipiell begrüpfbar. Die Begrüpfungsmethode hängt von den Standortvoraussetzungen ab und davon, welche Anforderungen an die Begrüpfung gestellt werden. Zu diesen Anforderungen zählen Begrüpfungserfolg, Kostengünstigkeit, Befahrbarkeit, Pflegebedürftigkeit, ökologisches Potential und Lärminderungspotential.

2. UNTERSUCHUNGSGEBIET UND VERSUCHSSTRECKE

In diesem Kapitel wird das Untersuchungsgebiet und der Versuchsaufbau mit den verwendeten Materialien beschrieben.

2.1. Beschreibung des Standortes in Graz

Die Versuchsflächen befinden sich süd-östlich des Stadtzentrums von Graz in der Conrad von Hötzendorfstraße, eine stark befahrene Ausfallstraße und Schwerverkehrsrouten mit einem Straßenbahngleiskörper in der Mitte (siehe Abbildung 9). Hier verkehren die Straßenbahnlinien 4 und 13 nach Liebenau und Richtung Zentrum zu den Hauptverkehrszeiten im 10 Minuten Takt.



Abbildung 9: Lage der Versuchsstrecke im Stadtgebiet Graz. Die Conrad von Hötzendorfstraße verläuft in südöstlicher Richtung vom Stadtzentrum Richtung UPC Arena (GOOGLE MAPS 2009, bearbeitet).

Zwischen den Kreuzungsbereichen ist der Gleiskörper streckenweise mit Rasengittersteinen befestigt, wobei diese verschlammte und verdichtet sind und die Vegetationsdecke überall sehr lückenhaft ist (siehe Abbildung 10).



Abbildung 10: Zustand der Gleisbegrünung mit Rasengittersteinen in der Conrad von Hötzendorfstraße im Mai 2010 (links) und im Mai 2009 (rechts). Die Fotos zeigen die lückenhafte Vegetation auf den Rasengittersteinen, die im Zuge des Versuchsprojektes teilweise durch eine Schotterrasenbauweise ersetzt wurde, wie in den jeweils rechten Bildrändern zu sehen ist. Beide Fotos wurden in Richtung Stadtzentrum aufgenommen.

Die Conrad von Hötzendorfstraße verläuft von Nord-West nach Süd-Ost. Im Bereich der Versuchsfläche wird die Straße an einer Seite von einer dreigeschoßigen Häuserzeile begleitet. Die andere Seite der Straße wird von einem ca. 2 m breiten Grünstreifen und einer fast durchgängigen Plakatwand begrenzt. Im Grünstreifen sind im Abstand von ca. 20 m Platanen gepflanzt mit einer Höhe von etwa 6 m (siehe Abbildung 11). Dadurch ergibt sich eine Beschattung der Versuchsflächen im Sommer während der frühen Morgenstunden durch die Gebäude und eine spärliche Beschattung ab dem späten Nachmittag durch die Plakatwand und die Bäume. Während der heißesten Stunden im Sommer bleibt die Fläche völlig unbeschattet. Der Standort ist stark wind- und sonnenexponiert. Die Hauptwindrichtungen in Graz sind NW, SO und NO (LAZAR et al. 1994). Dazu kommen Beeinträchtigungen durch die Winterbetreuung der Straßen, wobei das dabei verwendete Streusalz auch auf die Versuchsfläche gelangt. Ein zusätzliches Problem stellt die Verschmutzung der Fläche durch fallengelassenen Müll aus den vorbeifahrenden Autos dar.



Abbildung 11: Lage der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorferstraße. Der streckenweise begrünte Straßenbahngleiskörper liegt zwischen zwei Richtungsfahrbahnen. Auf der rechten Seite befindet sich ein Parallelparkstreifen und eine Häuserzeile. Links wird die Fahrbahn von einem Grünstreifen mit 6m hohen Platanen und einer anschließenden Plakatwand begrenzt. Das Foto wurde in Blickrichtung Stadtzentrum aufgenommen.

2.2. Klima der Stadt Graz

Das Grazer Becken liegt am Rande des steirischen Alpenvorlands in einem Talausgang des Randgebirges. Die Stadt befindet sich in etwa 350 m Seehöhe, wobei das unterschiedliche Relief vor allem in den Randbereichen zu Abweichungen führt (siehe Abbildung 12). Durch die Lage am Südostrand der Alpen werden die klimatischen atlantischen Störeinflüsse abgeschwächt. Das Klima im Grazer Raum ist schwach kontinental geprägt, und weist bezüglich des Niederschlags Sommermaxima (Gewitterreichtum) und Winterminima auf. Die Abschirmung durch die Bergzüge im Nordwesten bewirkt jedoch auch eine Windarmut und Inversionsgefährdung vor allem im Winterhalbjahr (LAZAR et al. 1994).

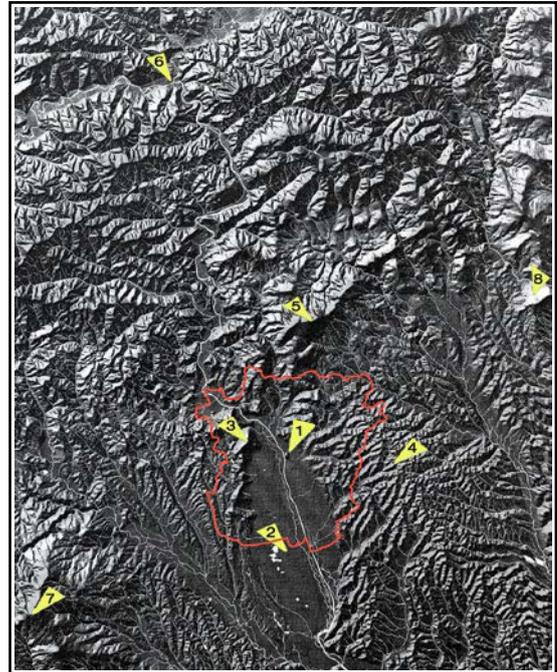


Abbildung 12: Lage des Grazer Stadtgebiets (rot). Graz befindet sich in geschützter Lage am Südostrand der Alpen. 1: Schloßberg (473 m), 2: Graz/Thalerhof (342 m), 3: Plabutsch (763 m), 4: Laßnitzhöhe (564 m), 5: Schöckel (1442 m), 6: Bruck a. d. Mur (480 m), 7: Reinischkogel (1463 m), 8: Kulm (976 m)

Durch die topografisch reich gegliederte Umgebung des Grazer Stadtgebiets kommt es zu einer Verzahnung von geländeklimatisch und stadtklimatisch bedingten Gegebenheiten. Die Inversion einerseits und der Wärmeinseleffekt andererseits führen zu starken Temperaturunterschieden innerhalb des Stadtgebiets. Die Temperatur nimmt von den kalten Seitentälern im Osten über das mäßig kalte, nebelreiche Grazer Feld, das überwärmte, dichter verbaute Stadtgebiet, und die niederen Riedellagen bis zu den höheren Riedellagen deutlich zu. Auf den höheren Riedellagen herrscht ein wintermildes, ausgeglichenes Klima, während in den Seitentalbecken tiefe Wintertemperaturen und große Tagesschwankungen dominieren. Die Inversionshäufigkeit nimmt vom Grazer Feld mit Inversionen an 60-70 % aller Tage bis zu den Seitentälern mit einer Inversionshäufigkeit von 80-90 % aller Tage zu (LAZAR et al. 1994).

In den Abbildungen 13 und 14 sind die langjährigen Monatsmittel der Klimadaten von 1971 bis 2000 bei der Messstation Graz-Universität für die Lufttemperatur und die Niederschlagsmenge dargestellt. Die Messungen ergaben eine Lufttemperatur im jährlichen Tagesmittel von 9,4 °C und eine mittlere Jahresniederschlagsmenge von 818,9 l/m². Abbildung 15 zeigt die durchschnittliche Anzahl besonderer Tage. Im Schnitt kommt es in Graz zu 97,8 Frosttagen, 19,8 Eistagen, 52,1 Sommertagen und 6,5 heißen Tagen mit Temperaturen über 30 °C im Jahr (ZAMG 2010).

Die Vegetationsperiode mit Temperaturen über 10 °C dauert in Graz 170-182 Tage, beginnt zwischen 18. und 25. April und endet zwischen 13. und 17. Oktober. Im Durchschnitt dauern Trockenperioden während der Vegetationsperiode 2,9-3,1 Tage (GIS STEIERMARK 2010).

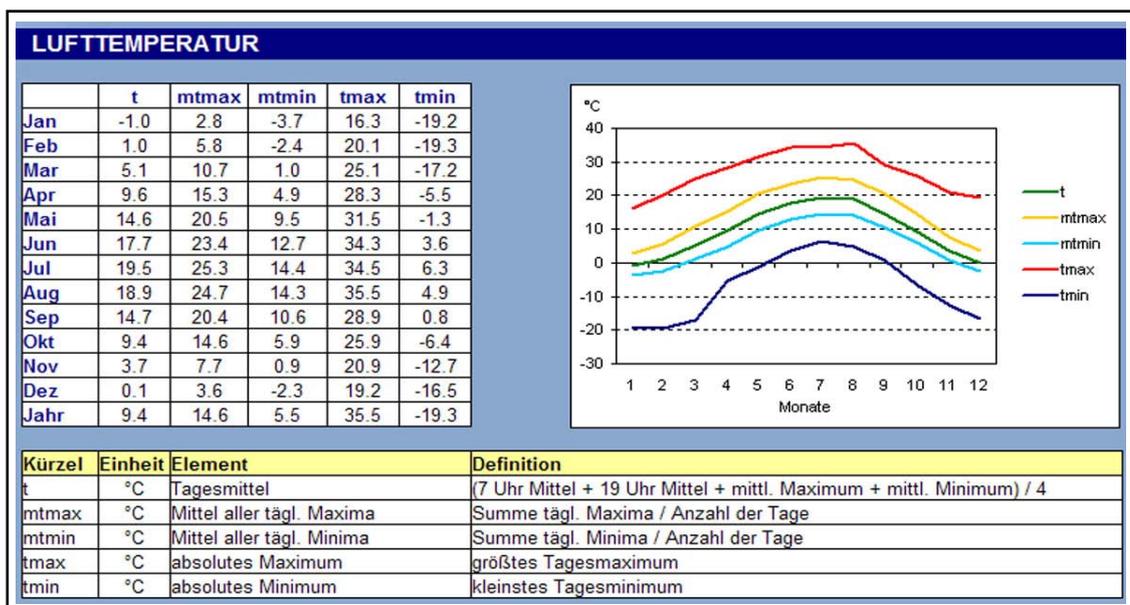


Abbildung 13: Durchschnittliche Lufttemperatur in Graz. Ermittelt aus dem langjährigen Monatsmittel der Klimadaten 1971-2000 der Messstation Graz-Universität (ZAMG 2010).

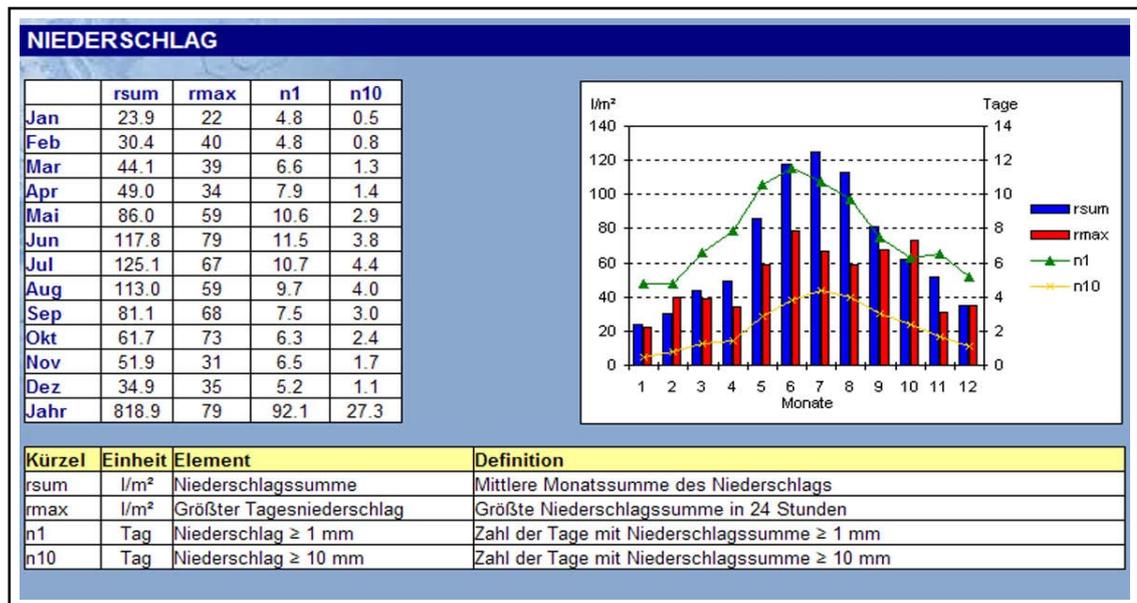


Abbildung 14: Durchschnittliche Niederschlagsmenge in Graz. Ermittelt aus dem langjährigen Monatsmittel der Klimadaten 1971-2000 der Messstation Graz-Universität (ZAMG 2010).

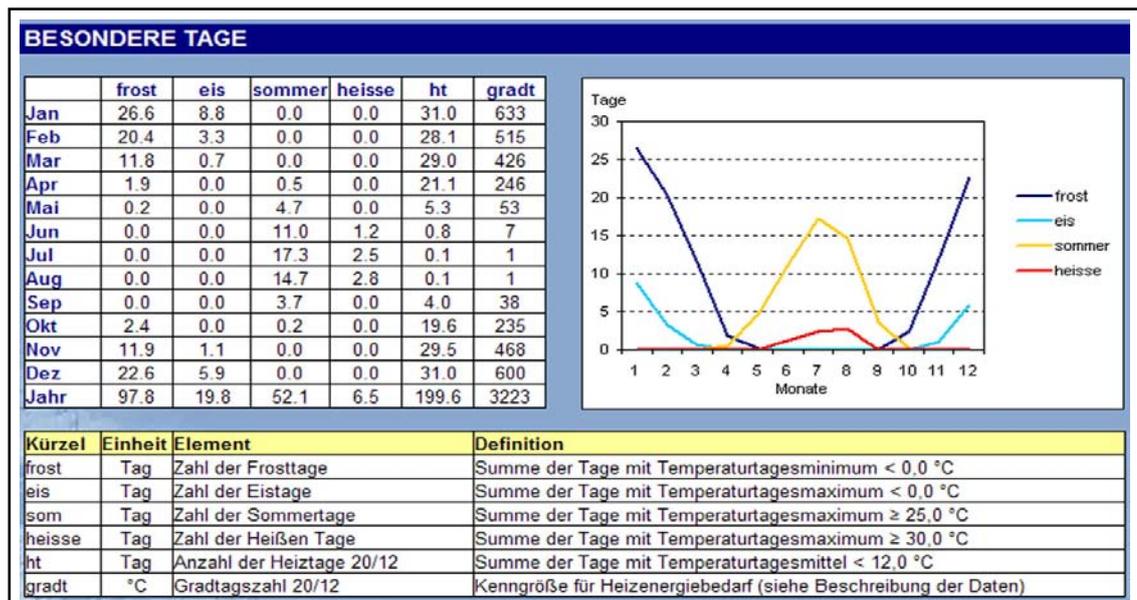


Abbildung 15: Anzahl der besonderen Tage in Graz. Ermittelt aus dem langjährigen Monatsmittel der Klimadaten 1971-2000 der Messstation Graz-Universität (ZAMG 2010).

2.3. Beschreibung der Versuchsanlage

Die Versuchsfelder befinden sich etwa auf halber Strecke zwischen Messe Graz und Stadion Liebenau in einem Gebiet, das von Gewerbenutzung dominiert ist.

Bei der Versuchsanlage handelt es sich um ein 131 m langes Gleisstück, das in zwei gleich große Flächen mit zwei unterschiedlichen Aufbauvarianten unterteilt wurde. Jede Aufbauvariante wurde wiederum in drei Sektoren gegliedert, auf denen je eine von drei Saatgutmischungen aufgebracht worden ist. Daraus ergaben sich sechs Sektoren mit einer Länge von jeweils knapp 22 m. In Abbildung 16 ist der Aufbau der Versuchsfelder schematisch dargestellt. Aus der Gesamtlänge von 131 m und einer Breite von 1,32 m ergibt sich eine Gesamtfläche von 173 m² und sechs Sektorenflächen von ca. 29 m².

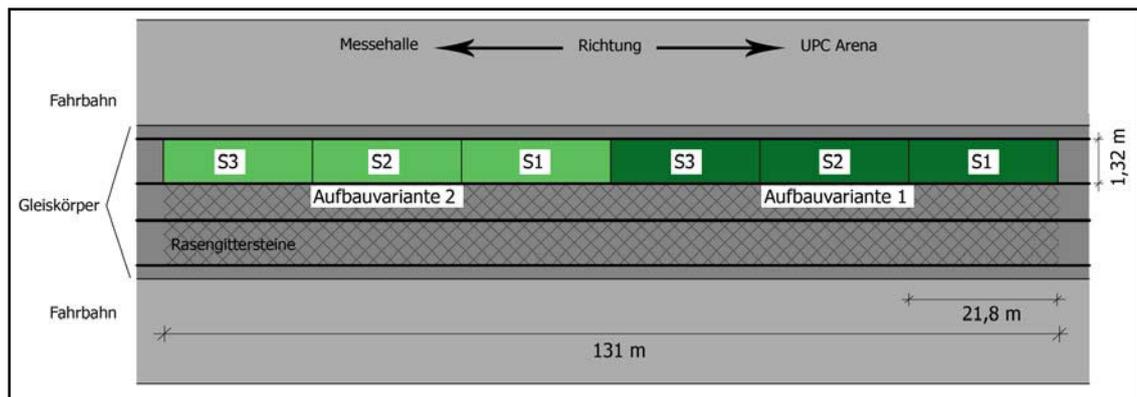


Abbildung 16: Schematische Darstellung der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße. Auf zwei verschiedenen Aufbauvarianten werden jeweils drei Saatgutmischungen getestet.

Die sehr geringe Stärke der Vegetationstragschicht ist mit 16 cm begrenzt und ergibt sich aus der Tiefe der Betonwanne des Straßenbahngleiskörpers (siehe Abbildung 17). Es wurde ein zweischichtiger Aufbau gewählt, wobei die untere Schicht 12 cm und die obere Schicht 4 cm beträgt.



Abbildung 17: Tiefe der Betonwanne des Straßenbahngleiskörpers in der Conrad von Hötzendorfstraße. Die Tiefe ist mit 16 cm begrenzt, woraus sich die Höhe der Vegetationstragschicht ergibt (SCHARF Mai 2009).

2.4. Beschreibung des Recyclingmaterials und der Aufbauvarianten

Als Material für die Gerüststoffe der Vegetationstragschicht wurde ein qualitätsgeprüftes Baustoff-Recyclingmaterial mit hohem Ziegelanteil gewählt und mit 20 Vol.-% Kompost der Güteklasse A⁺ homogen vermischt, um den Pflanzen die notwendigen Nährstoffe bereit zu stellen.

Laut BRV (2007) handelt es sich bei dem Recyclingmaterial um Hochbau-Restmassen, die beim Abbruch von Hoch- und Ingenieurbauten anfallen. Durch eine anschließende Aufbereitung entstehen verschiedene Recycling-Baustoffe, die vor allem aus Beton, Mauerwerk und natürlichem Gestein bestehen. Diese Baustoffe werden in Güte- und Qualitätsklassen eingeteilt.

Für die Gleisbegrünung in Graz wurden zwei verschiedenen Baustoffe verwendet: RHZ III 0/32 A⁺ (Recyclierter Hochbauziegelsplitt) und RZ III 0/20 A⁺ (Recyclierter Ziegelsplitt). Die Bezeichnung III bezieht sich auf die Güteklasse mit einem definierten Sieblinienbereich, die in den Abbildungen 18 und 19 für die beiden verwendeten Materialien dargestellt sind. Die Bezeichnung A⁺ beschreibt die Qualitätsklasse. Baustoffe dieser Klasse können in hydrogeologisch sensiblen Gebieten ungebunden ohne Deckschicht eingebaut werden, der pH-Wert muss zwischen 7,5 und 12,5 liegen (BRV 2007).

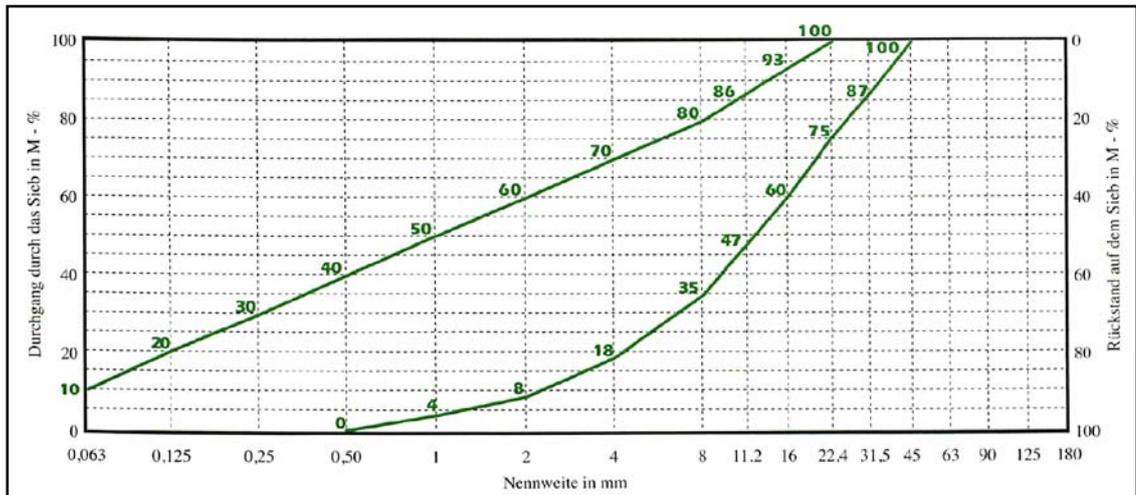


Abbildung 18: Sieblinienbereich 0/22 bis 0/45 für Güteklasse III (BRV 2007)

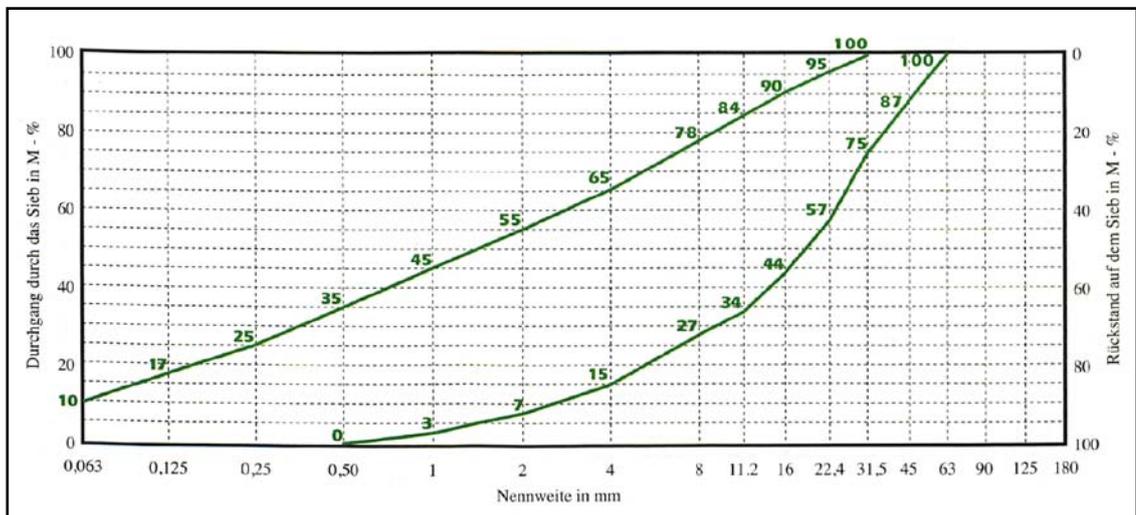


Abbildung 19: Sieblinienbereich 0/32 bis 0/63 für Güteklasse III (BRV 2007).

In den Abbildungen 20 und 21 sind die Korngrößenverteilungen der beiden eingebauten Baustoff-Recyclingmaterialien dargestellt. Die Abbildung 22 zeigt einen Vergleich der Sieblinien der eingebauten Baustoff-Recyclingmaterialien mit dem von der FLL-Richtlinie (2008) empfohlenen Sieblinienbereich für Baustoffgemische bei Schotterrasen. Das Baustoff-Recyclingmaterial RHZ III 0/32 A+, welches in der Aufbauvariante 1 der Versuchsstrecke in beiden Lagen der Vegetationstragschicht und in der Aufbauvariante 2 in der unteren Lage der Vegetationstragschicht eingebaut wurde, weist einen leicht erhöhten Schlämmkornanteil (0/0,06) von ca. 15 % auf. Im Bereich des Keskorns liegen die Massenanteile ebenfalls außerhalb des von der FLL-Richtlinie vorgeschlagenen Bereichs. Der Anteil des Großkorns (20/32) ist sehr gering. Ähnlich verhält es sich mit dem Baustoff-Recyclingmaterial RZ III 0/20 A+, welches in der Aufbauvariante 2 der Versuchsstrecke in der oberen Lage eingebaut wurde. Die Schlämmkornanteile (0/0,06) liegen bei etwa 15 % und der Anteil des Größtkorns (20 mm) ist kaum vorhanden. Daher liegt die Korngrößenverteilung bei diesem Material eigentlich bei 0/16 statt bei 0/20 wie vorgesehen. Die Sieblinien der verwendeten Baustoff-Recyclingmaterialien entsprechen somit nicht dem von der FLL-Richtlinie vorgeschlagenen Sieblinienbereich für Baustoffgemische bei Schotterrasen.

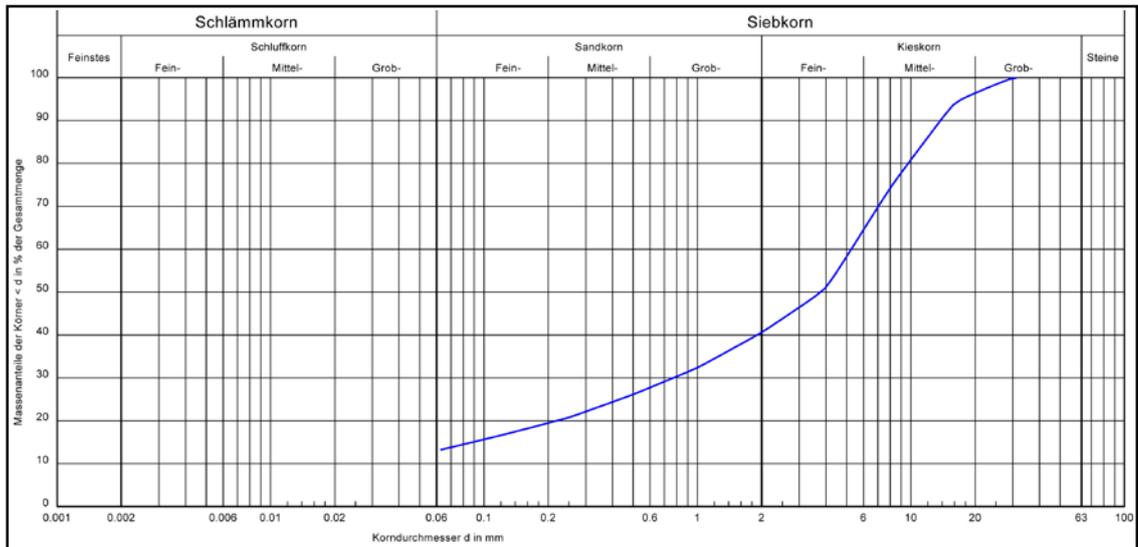


Abbildung 20: Sieblinie des für die Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße verwendeten Baustoff-Recyclingmaterials RHZ III 0/32 A+.

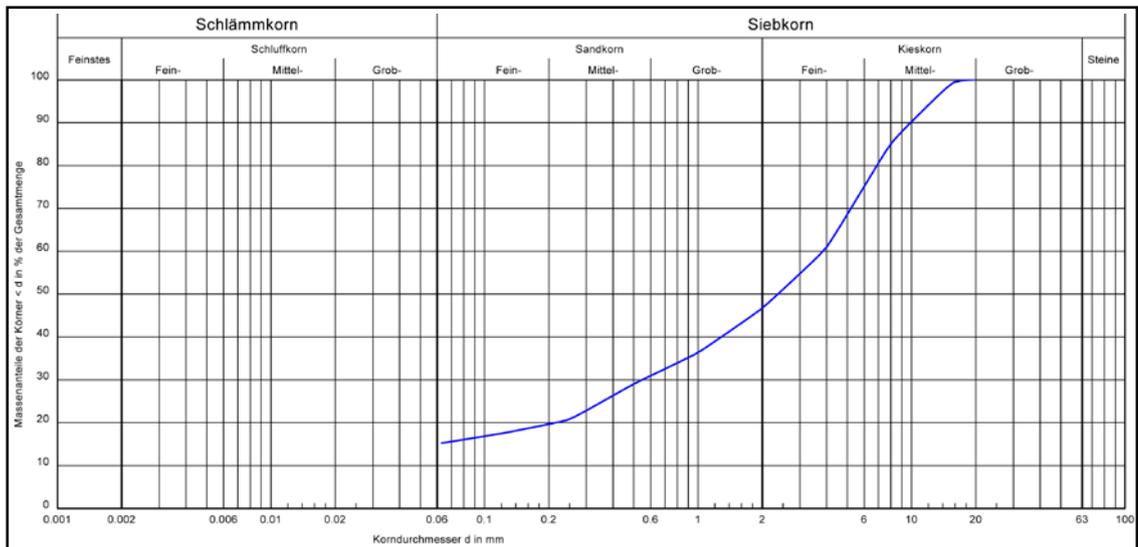


Abbildung 21: Sieblinie des für die Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße verwendeten Baustoff-Recyclingmaterials RZ III 0/20 A+. Die tatsächliche Korngrößenverteilung liegt jedoch bei 0/16.

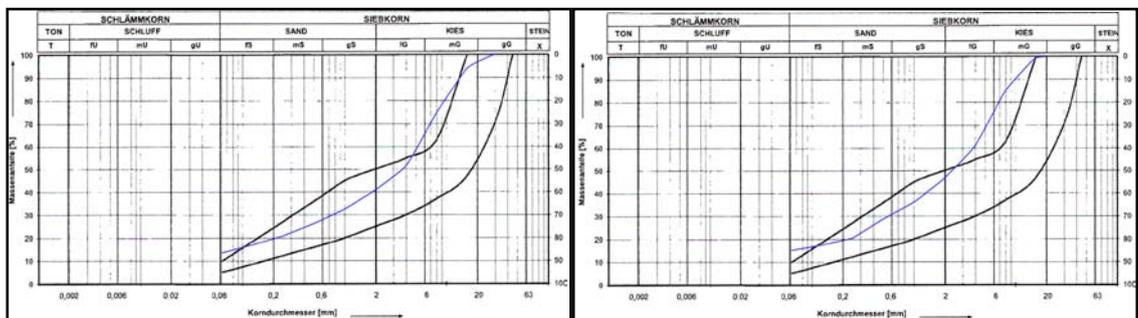


Abbildung 22: Vergleich der Sieblinien der verwendeten Baustoff-Recyclingmaterialien (blau) mit dem von der FLL-Richtlinie (2008) empfohlenen Sieblinienbereich für Baustoffgemische bei Schotterterrassen. Links der Vergleich mit dem Material RHZ III 0/32 A+ und rechts der Vergleich mit dem Material RZ III 0/20 A+.

Um der Vorgabe der Befahrbarkeit zu entsprechen, wurde ein zweischichtiger Aufbau gewählt, wobei die untere Schicht stärker verdichtet ist als die obere. Somit kann der Gleiskörper auch mit Sondertransporten befahren werden und gleichzeitig ist die Begrünbarkeit gewährleistet. Die Fläche wurde mit einer rund 2,5 t schweren Walze statisch auf E_{v2} von 40 bis 65 MN/m² verdichtet. Der k_f -Wert der Wasserdurchlässigkeit lag beim Einbau im Bereich von $4,3 \times 10^{-7}$ bis $7,4 \times 10^{-8}$ m/s. Die Werte liegen außerhalb des angestrebten Bereichs von 5×10^{-5} bis 5×10^{-6} . Die genaue Darstellung der Ergebnisse von Tragfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit der Fläche befindet sich in Kapitel 5.

Im Versuch werden zwei Aufbauvarianten getestet, die sich durch das Material der oberen Lage unterscheiden. Bei der Aufbauvariante 1 wird in beiden Lagen ein Recyclingmaterial mit einem Ziegelanteil von 33 bis 85 M.-% und einem Größtkorndurchmesser von 32 mm verwendet (RHZ III 0/32 A+). In der Aufbauvariante 2 ist der Ziegelanteil der oberen Lage größer als 85 M.-% und der Größtkorndurchmesser liegt bei 20 mm (RZ III 0/20 A+). In den Abbildungen 23 und 24 ist ein schematischer Aufbau der beiden Aufbauvarianten dargestellt.

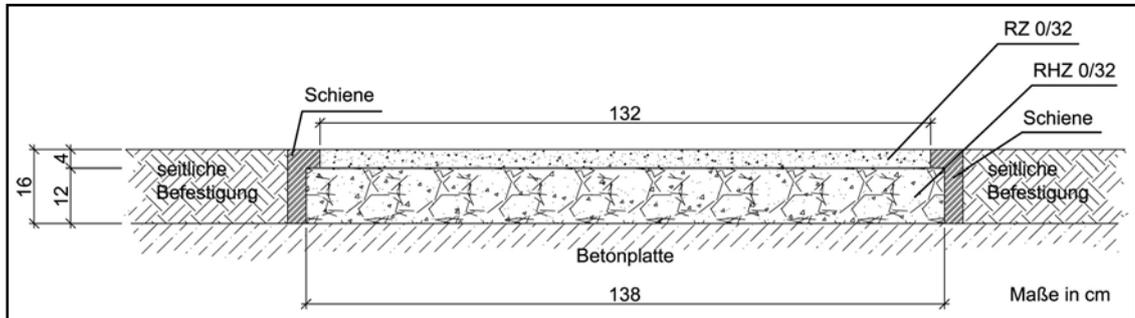


Abbildung 23: Schematische Darstellung der Aufbauvariante 1. Für die untere und die obere Vegetationstragschicht wurde das Material RHZ 0/32 verwendet.

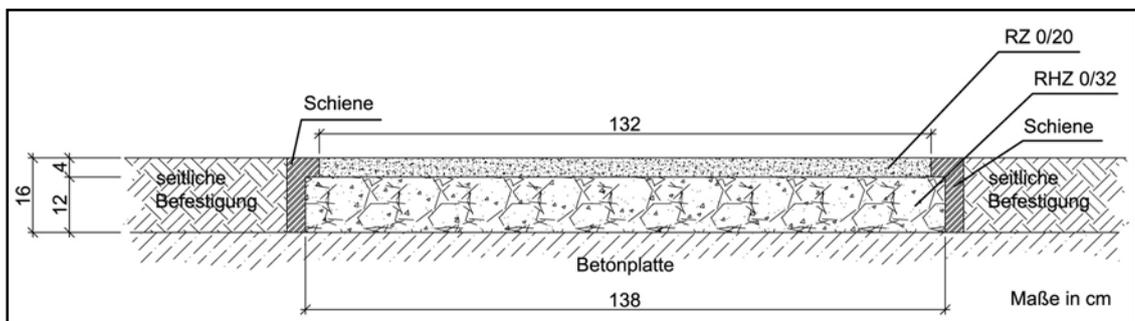


Abbildung 24: Schematische Darstellung der Aufbauvariante 2. Für die untere Schicht wurde das Material RHZ 0/32 verwendet, während in der oberen Schicht das feinere Material RZ 0/20 eingebaut worden ist. Die Stärke der beiden Lagen beträgt 16 cm.

2.5. Einbau der Versuchsstrecke im Mai 2009

Der Einbau der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße begann am 27. Mai 2009 und dauerte drei Tage. Zuerst wurden die Rasengittersteine und die darunter liegenden Tragschichten entfernt. Beim Entfernen der Rasengittersteine wurden die meisten beschädigt und konnten entgegen den Erwartungen nicht anderswo wiederverwendet werden. In die gesäuberte Betonwanne wurden die beiden Lagen der Vegetationstragschicht nacheinander aufgebracht und jeweils mit einer statischen Glattwalze auf die gewünschte Tragfähigkeit verdichtet. Die darauf folgende Ansaat wurde händisch durchgeführt und vor der Befestigung mittels organischem Kleber mit der Walze angedrückt. Dieser Vorgang musste schnell abgeschlossen werden, da durch die Sogwirkung, die durch die fahrenden Straßenbahnen entsteht, das Saatgut leicht verweht werden kann.

Folgende Arbeitsschritte waren laut SCHARF (2009) notwendig:

- Abtrag und Abtransport der Rasengittersteine und darunter liegender Tragschichten
- Liefern des fertig gemischten Materials (Baustoffrecyclingmaterial und Kompost) für die untere Lage
- Aufbringen der 12 cm starken unteren Lage der Vegetationstragschicht
- Verdichten der unteren Lage
- Liefern des fertig gemischten Materials für die obere Lage
- Aufbringen der 4 cm starken oberen Lage der Vegetationstragschicht
- Verdichten der oberen Lage
- Ansaat
- Andrücken des Saatguts mittels Walze
- Aufbringen des organischen Klebemittels

Die Abbildungen 25 - 30 zeigen Bilder vom Einbau der Versuchsstrecke im Mai 2009.



Abbildung 25: Entfernen der Rasengittersteine auf der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. Die Rasengittersteine wurden dabei zerstört (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 26: Gesäubertem Gleiskörper. Das Unterbaumaterial der Rasengittersteine wurde aus der Betonwanne des Geiskörpers entfernt (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 27: Aufbringung des Recyclingmaterials. Das Material wurde vom LKW per Greifer direkt in die Versuchsstrecke eingebracht (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 28: Einebnen des Recyclingmaterials. Mittels Rechen wurde das Material gleichmäßig verteilt (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 29: Verdichtete untere und unverdichtete obere Vegetationstragschicht. Nach der Verdichtung der unteren Tragschicht wurde die obere aufgebracht und ebenfalls eingeebnet (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 30: Verdichtung der oberen Vegetationstragschicht in der Conrad von Hötzendorfstraße. Die Verdichtung erfolgte mit einer statischen Glattwalze. Die Höhe der oberen Tragschicht entspricht der Schienenoberkante (SCHARF Mai 2009).

3. SAATGUT

In diesem Kapitel wird beschrieben, worauf bei der Erstellung von Saatzgutmischungen für Schotterrasen zu achten ist. Außerdem werden die verwendeten Pflanzenarten und die erstellten Saatzgutmischungen vorgestellt. Anschließend werden die Arbeitsschritte bei der Aufbringung des Saatzguts dargestellt.

3.1. Erstellen von Saatzgutmischungen

Auf Basis der Diplomarbeit von HASLGRÜBLER (2008) wurden für das Projekt „Grüne Gleise für Graz“ drei Saatzgutmischungen entwickelt. Die Auswahl der Pflanzen erfolgte unter Berücksichtigung der Standortbedingungen, allgemeiner Empfehlungen zu Rasengräsern und Saatzgutmischungen und der Vorgaben durch die Stadt Graz.

FLORINETH (2004) betont bei der Zusammenstellung von Saatzgutmischungen die Wichtigkeit von Pionierarten wie *Festuca rubra* oder *Achillea millefolium* sowie von Ammenarten wie *Lolium perenne*, die als schnell wachsende Arten Schutz für die übrigen Arten bieten.

Um eine geschlossene Rasendecke zu erhalten, ist darüber hinaus auf das Verhältnis von ausläuferbildenden Gräsern zu horstbildenden Gräsern zu achten.

In der FLL (2008) werden beim Bau von Schotterrasen die Regel-Saatzgut-Mischungen Parkplatzrasen und Landschaftsrassen-Trockenlagen empfohlen, bzw. die Ergänzung dieser Mischungen durch trockenheitsverträgliche, niedrig wachsende Kräuter. Die im Versuchsprojekt zur Anwendung gebrachten Saatzgutmischungen enthalten Arten aus beiden Regel-Saatzgut-Mischungen und wurden durch einige Arten ergänzt.

Wie bereits in der Standortbeschreibung besprochen, handelt es sich bei den Versuchsflächen um Extremstandorte. Die Auswahl der Pflanzenarten erfolgte daher anhand folgender Kriterien (SCHARF 2009):

- Befahrbarkeit
- Trockenheitsresistenz
- Hitzeverträglichkeit
- Windtoleranz
- Nährstoffbedarf
- bevorzugter/tolerierter pH-Wert Bereich
- Wuchshöhe
- Besiedlungsstrategie
- Fähigkeit zur Stickstoffbindung
- Vegetationskundliche Ausbreitung
- Verfügbarkeit des Saatguts

3.2. Beschreibung der verwendeten Pflanzenarten

Die Saatgutmischungen bestehen aus Leguminosen, Kräuter und Gräser. Die Herausforderung des Standorts ist das ständige Kurzhalten der Vegetation durch das Überfahren der Straßenbahn. Somit kann kaum eine generative Vermehrung der Pflanzen stattfinden. Es ist wichtig Pflanzen auszuwählen, die entweder Ausläufer bilden oder auch dann noch zur Blüte kommen, wenn sie ganz kurz gehalten werden. Im Folgenden werden die verwendeten Pflanzenarten in Bezug auf ihren Wuchs und die Ansprüche an den Standort beschrieben.

LEGUMINOSEN:



Abbildung 31: *Trifolium dubium*
(WIKIMEDIA COMMONS 1 2010).

Trifolium dubium

Der gelb blühende Fadenklee hat einen niederliegenden bis aufsteigenden und nur in dichten Rasen einen aufrechten Wuchs. Er wächst auf humosen, lehmigen Böden und ist anspruchslos an pH-Wert und Nährstoffversorgung (AICHELE und SCHWEGLER 2000). Er kann zeitweise Belastung durch Salzstreuung ertragen (KUTSCHERA und LICHTENEGGER 1992). Die Pflanze kommt in Fettwiesen, Weiden und Gartenrasen vor, blüht von Mai-September und wird 10-20 cm hoch .



Abbildung 32: *Trifolium repens*
(WIKIMEDIA COMMONS 2 2010).

Trifolium repens

Der Weißklee hat einen kriechenden Stängel, der an den Knoten wurzelt und bis zu 30 cm lang wird. Die Einzelblüten sind gestielt und aufrecht. Die Pflanze braucht nährstoffreiche, lehmig-tonige und frische Böden, ist weitverbreitet und wächst vor allem in Fettweiden, Wiesen, Rasen und an Wegrändern. Aufgrund der kriechenden, wurzelnden Stängel ist sie schnitt- und trittresistent. Sie blüht von Mai-Oktober und wird 5-20 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 33: *Medicago lupulina*
(WIKIMEDIA COMMONS 3 2010).

Medicago lupulina

Der Stängel des gelb blühenden Hopfenklee ist niederliegend bis aufsteigend, gelegentlich auch aufrecht. Er braucht tiefgründige, kalkhaltige, nicht allzu nährstoffarme Lehm- oder Lössböden. Häufig wächst er an Wegrändern und Rainen, trockenen Wiesen und Halbtrockenrasen. Außerdem gilt er als Pionierpflanze. Er blüht von Mai-September und wird 10-30 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 34: *Lotus corniculatus*
(WIKIMEDIA COMMONS 4 2010).

Lotus corniculatus

Der gewöhnliche Hornklee blüht gelb, hat einen bogig aufsteigenden Stängel oder wächst auch aufrecht. Er braucht nährstoffreichen Lehmboden und besiedelt Fettwiesen, Halbtrockenrasen, Wegränder und Gebüsche bzw. lichte Wälder. Er blüht von Mai-August und wird 5-30 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 35: *Trifolium campestre*
(WIKIMEDIA COMMONS 5 2010).

Trifolium campestre

Der Feld-Klee hat einen niederliegenden bis aufsteigenden oder auch aufrechten, meist verästelten Wuchs. Er wächst auf eher kalkhaltigen, zumindest nicht zu sauren, steinigen, sandigen oder lehmigen Böden. Er kann vorübergehende Trockenheit ertragen (KUTSCHERA und LICHTENEGGER 1992). Auf stickstoffarmen Standorten ist er häufiger zu finden als auf gut nährstoffversorgten. Er besiedelt Schotter, lückige, steinige Rasen, Wegränder und magere Wiesen und Weiden. Er blüht gelb, von Juni-September und wird 10-20 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).

KRÄUTER:



Abbildung 36: *Plantago media*.

Plantago media

Die Blätter des Mittleren Wegerichs wachsen in grundständigen Rosetten die meist am Boden anliegend sind. Er wächst auf eher trockenen, kalkhaltigen oder nicht zu sauren Lehmböden und meidet feuchte Standorte. Häufig findet man ihn in trockenen Rasen, extensiv genutzten Weiden oder Wegrändern. Er blüht von Mai-Juli und wird 10-40 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 37: *Pimpinella saxifraga*
(WIKIMEDIA COMMONS 6 2010).

Pimpinella saxifraga

Die Kleine Bibernelle hat einen aufrechten Stängel, die Blätter sind jedoch überwiegend grundständig. Sie wächst auf lockeren Lehm- oder Lössböden und bevorzugt eher magere Standorte (AICHELE und SCHWEGLER 2000). Aufgrund ihres tiefreichenden Wurzelsystems kann sie höhere Trockenheit ertragen (KUTSCHERA und LICHTENEGGER 1992). Man findet sie auf Trockenrasen, in lichten Gebüsch und auf Rainen. Sie blüht weiß, von Juni-Oktober und wird 15-60 cm hoch.



Abbildung 38: *Thymus pulegioides*
(WIKIMEDIA COMMONS 7 2010).

Thymus pulegioides

Der Feld-Thymian hat einen niederliegenden Wuchs und bildet mittelgroße bis große Teppiche, wächst aber vor allem in lückigen und niedrigwachsenden Beständen (KUTSCHERA und LICHTENEGGER 1992). An der Basis ist er meist verholzt. Er braucht kalkarme, sandig-steinige Lehmböden, die frisch bis trocken und nährstoffarm sind. Er besiedelt Trockenrasen und Felsfluren und blüht rosa bis purpurn, von Juni-September und wird 5-20 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 39: *Hieracium pilosella*
(WIKIMEDIA COMMONS 8 2010).

Hieracium pilosella

Das kleine Habichtskraut wächst in eng am Boden anliegenden Rosetten aus denen sich lange beblätterte Ausläufer bilden. Es ist an Trockenheit angepasst und braucht mageren, sandig-mergeligen Lehmboden. Man findet es auf Trockenrasen, Felsfluren und Wegrändern. Häufig besiedelt es auch Lücken. Es blüht gelb, von Mai-Oktober und wird 5-30 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 40: *Petrorhagia saxifraga*.

Petrorhagia saxifraga

Die Steinbrech-Felsennelke blüht rosa bis hellviolett, hat einen niederliegenden bis aufsteigenden Wuchs und ist meist von Grunde an stark verzweigt. Sie bildet lockere Büschel oder dem Boden anliegende Teppiche (KUTSCHERA und LICHTENEGGER 1992). Sie braucht kalkhaltige Böden die sandig oder steinig sein können. Sie ist ein Wärme-, Trockenheits- und Magerkeitszeiger und wächst auf Trockenrasen und Felsfluren. Die Pflanze blüht von Juni-September und wird 10-25 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 41. *Achillea millefolium*
(WIKIMEDIA COMMONS 9 2010).

Achillea millefolium

Die weiß blühende Wiesen-Schafgarbe hat einen aufrechten Wuchs und ist ein Wurzelkriecher wodurch sie zur Befestigung des Bodens beiträgt. Sie braucht mäßig stickstoffreiche Lehm Böden und scheut Nässe. Oft findet man sie auf Halbtrockenrasen, Fettwiesen und Wegrändern. Sie blüht von Juni-September und wird 15-60 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 42: *Dianthus carthusianorum*
(WIKIMEDIA COMMONS 10 2010).

Dianthus carthusianorum

Die Karthäuser-Nelke ist eine rosa blühende, aufrechte, meist unverzweigte Pflanze und braucht kalkhaltige, lockere, steinige oder sandige Lehm Böden mit guter Humusbeimischung. Sie gedeiht auf warmen, trockenen und mageren Standorten und man findet sie daher auf Halbtrockenrasen und in trockenen Gebüsch. Sie blüht von Juni-September und wird 10-50 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 43: *Bellis perennis*
(WIKIMEDIA COMMONS 11 2010).

Bellis perennis

Das weiß blühende Gänseblümchen wächst in grundständigen Blattrosetten mit einem aufrechten Stängel an dessen Ende sich die Blüten befinden. Es braucht gut stickstoffversorgte, frische Lehm- oder Tonböden. Man findet es in Fettwiesen und -weiden, Parkrasen und an Wegrändern. Es hat durch seinen niedrigen Wuchs und als lichtbedürftige Pflanze in kurzgeschnittenen Pflanzenbeständen einen Vorteil. Es blüht von Februar-Dezember und wird 5-15 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 44: *Anthemis nobilis*
(WIKIMEDIA COMMONS 12 2010).

Anthemis nobilis (Chamaemelum nobile)

Die Römische Duftkamille blüht weiß und hat einen aufrechten Wuchs. Sie ist trittresistent und hat einen aromatischen Duft. Sie wird 15-30 cm hoch und blüht von Juni bis Oktober (WIKIPEDIA 2010).



Abbildung 45: *Galium verum*
(WIKIMEDIA COMMONS 13 2010).

Galium verum

Das Echte Labkraut blüht gelb und hat einen aufsteigenden bis aufrechten Stängel. Es braucht nährstoffarme, kalkhaltige, trockene bis frische Lehm- oder Lössböden. Es besiedelt Trockenrasen und Gebüsche, blüht von Mai-September und wird 10-70 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).



Abbildung 46: *Potentilla tabernaemontani*
(WIKIMEDIA COMMONS 14 2010).

Potentilla tabernaemontani

Das gelb blühende Frühlings-Fingerkraut hat einen niederliegenden bis aufsteigenden Stängel und bildet mit Hilfe von oberirdischen Kriechsprossen teppichartige Bestände. Es braucht sandige, lehmige oder steinig-felsige Böden, die trocken und mager sein sollten. Man findet es auf Trockenrasen, Felsfluren, Rainen und Wegrändern. Es blüht von März-Mai und wird 5-15 cm hoch (AICHELE und SCHWEGLER 2000).

GRÄSER :



Abbildung 47: *Koeleria macrantha*
(WIKIMEDIA COMMONS 15 2010).

Koeleria macrantha

Das Pyramiden-Schillergras bildet lockere Horste und kann kurze unterirdische Ausläufer haben. Es braucht kalkhaltige, flachgründige oder feinerdearme, steinig-sandige oder kiesige Böden. Es ist ein Trockenheits- und Magerkeitszeiger und kommt in Magerrasen, trockenen Wiesen, Wegrändern und Gebüschen vor. Es blüht von Juni-Juli und wird 10-70 cm hoch (CONERT 2000).



Abbildung 48: *Festuca valesiaca*
(WIKIMEDIA COMMONS 16 2010).

Festuca valesiaca

Der Walliser Schwingel bildet dichte Polster, ohne Ausläufer. Er wächst auf humosen, lockeren, feinerdereichen und tief-mittelgründigen Lössböden und ist ein Trockenheits- und Magerkeitszeiger. Man findet ihn vor allem in Trockenrasen, auf steingen, sandigen Böschungen und auf Felsfluren. Er ist Mahd- und Düngeempfindlich, blüht von Juni-Juli und wird 20-50 cm hoch (CONERT 2000).



Abbildung 49: *Cynosurus echinatus*
(WIKIMEDIA COMMONS 17 2010).

Cynosurus echinatus

Das Stachel-Kammgras ist ein einjähriges in kleinen Büscheln oder einzelnen Halmen wachsendes Gras das auch kurze Ausläufer bilden kann. Es braucht schwach saure, wenig nährstoffhaltige, sommerwarme Sand- und Tonböden, ist ein ausgesprochener Trockenheitszeiger und gedeiht nur in Lagen mit feucht-mildem Winterklima, da es empfindlich gegen Winterkälte ist. Es ist oft in Ruderalfluren zu finden, blüht von Juni-Juli und wird 15-60 cm hoch (CONERT 2000).



Abbildung 50: *Festuca ovina*
(WIKIMEDIA COMMONS 18 2010).

Festuca ovina

Der Schaf-Schwingel bildet dichte Horste ohne Ausläufer und wächst auf nährstoffarmen, trockenen Sand- oder Leimböden. Er ist ein ausgesprochener Magerkeitszeiger und besiedelt Magerwiesen und -weiden und Halbtrockenrasen. Er blüht von Mai- Juli und wird 5-30 cm hoch (CONERT 2000). In den Saatgutmischungen wurden *Festuca ovina s.str.* und *Festuca ovina duriuscula* verwendet.



Abbildung 51: *Cynodon dactylon*.

Cynodon dactylon

Das Hundszahngras bildet mit Hilfe langer, stark verzweigter unterirdischer Ausläufer und oberirdischer Kriechsprosse dichte Rasen. Es braucht lockere, nährstoffreiche, sandige und humusarme offenen Böden und gilt als Pionierpflanze. Man findet es häufig auf warmen Böschungen, Wegrändern und Ruderalfluren. Es blüht von Juni-September und wird 10-40 cm hoch (CONERT 2000).



Abbildung 52: *Festuca rubra commutata*
(WIKIMEDIA COMMONS 19 2010).

Festuca rubra commutata (Festuca nigrescens)

Der Horst-Rotschwengel bildet dichte Horste mit kurzen unterirdischen Ausläufern. Er braucht frische, humose, sandige Lehm Böden und ist ein Säurezeiger und Bodenfestiger. Man findet ihn in Wiesen und Weiden und lichten Wäldern. Er blüht von Juni-August und wird 20-55 cm hoch (CONERT 2000).



Abbildung 53: *Poa compressa*
(WIKIMEDIA COMMONS 20 2010).

Poa compressa

Das Plathalm-Rispengras wächst in dichten Rasen und bildet lange unterirdische Ausläufer. Es braucht trockene, magere, humus- und feinerdearme Sand-Kies- und Steinböden oder lockeren Löss und Lehm. Es ist ein Trockenheitszeiger und man findet es auf Ruderalfluren, Felsfluren und auf Bahndämmen und Mauern. Es blüht von Juni-August und wird 10-50 cm hoch (CONERT 2000).



Abbildung 54: *Poa pratensis*
(WIKIMEDIA COMMONS 21 2010).

Poa pratensis

Das Wiesen- Rispengras wächst in dichten Horsten die durch lange unterirdische Ausläufer miteinander verbunden sein können. Es braucht feinerdereiche, locker-humose Lehm Böden, die nicht zu feucht und nährstoffreich sein sollten. Es wächst auf Wiesen, Weiden, Fettwiesen und -weiden und Wegrändern. Es blüht von Mai-Juni und wird 10-60 cm hoch (CONERT 2000).



Abbildung 55: *Lolium perenne*
(WIKIMEDIA COMMONS 22 2010).

Lolium perenne

Das Deutsche Weidelgras bildet lockere Horste oder auch Rasen ohne Ausläufer aber über den kriechenden Wurzelstock treiben in kurzen Abständen neue Tochterrosetten. Es braucht nährstoffreiche, frische Lehm- oder Tonböden und ist ein Nährstoff- und Frischezeiger und ist wintergrün und trittresistent. Man findet es auf Wiesen, Weiden und Parkrasen. Es blüht von Mai-August und wird 10-90 cm hoch (CONERT 2000).

3.3. Beschreibung der verwendeten Saatgutmischungen

Für das Projekt „Grüne Gleise für Graz“ wurden drei Saatgutmischungen entwickelt, die sich hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung und der Mischungsanteile der Arten unterscheiden:

- Artenreiche Mischung
- Trockenheitsresistenz optimierte Mischung
- Gräserreiche Mischung

In den Abbildungen 56 bis 58 sind die genauen Artenlisten und ihre Mischungsanteile sowie das Tausendkorngewicht aufgelistet. Das Tausendkorngewicht gibt das Gewicht von Tausend Samen in Gramm an. Es ist ein wichtiger Faktor bei der Zusammenstellung von Saatgutmischungen, da man ein ausgewogenes Aufkeimen erreichen will (FLORINETH 2004). Von sehr kleinsamigen Arten reichen daher schon sehr geringe Mengen.

Saatgutmischung Straßenbahngleiskörper Graz 2009							
Variante 1 – Artenreiche Saatgutmischung							
Arten	Sorten	alternative Sorten	Wuchshöhe	Mischungsanteil in		Tausendkorngewicht	Samen
				Gewichts-%	Gramm		
Gräser	insgesamt			74,61	620		1.429.084
<i>Festuca ovina duriuscula</i>			10-60	6,02	50	0,7	71.429
<i>Festuca ovina s.str.</i>		Mecklenburger	10-60	12,03	100	0,7	142.857
<i>Cynodon dactylon</i>			10-40	6,02	50	1	60.000
<i>Cynosurus echinatus</i>			20-60	6,02	50	0,55	90.909
<i>Festuca valesiaca</i>			20-30	12,03	100	0,45	222.222
<i>Festuca rubra commutata</i>		oder nigrescens	30-90	6,02	50	1,2	41.667
<i>Koeleria macrantha</i>		vallesiana	20-50	6,02	50	0,5	100.000
<i>Lolium perenne</i>			10-60	2,41	20	2	10.000
<i>Poa compressa</i>		ssp. Compressa	20-50	12,03	100	0,2	500.000
<i>Poa pratensis</i>			20-50	6,02	50	0,25	200.000
Leguminosen	insgesamt			6,02	50		60833,33
<i>Lotus corniculatus</i>				1,20	10	1,2	8.333
<i>Trifolium dubium</i>				1,20	10	0,45	22.222
<i>Trifolium campestre</i>		arvense		0,90	7,5	0,5	15.000
<i>Trifolium repens</i>				0,30	2,5	0,6	4.167
<i>Medicago lupulina</i>				2,41	20	1,8	11.111
Kräuter	insgesamt			19,37	161		649.258
<i>Achillea millefolium</i>				1,20	10	0,13	76.923
<i>Anthemis nobilis</i>				1,56	13	0,13	100.000
<i>Bellis perennis</i>				0,36	3	0,19	15.789
<i>Dianthus carthusianorum</i>				2,41	20	1,3	15.385
<i>Galium verum</i>				2,41	20	0,5	40.000
<i>Hieracium pilosella</i>				1,20	10	0,19	52.632
<i>Petrohragia saxifraga</i>				1,20	10	0,16	62.500
<i>Pimpinella saxifraga</i>				2,41	20	0,65	23.529
<i>Plantago media</i>				1,81	15	0,24	62.500
<i>Potentilla tabernaemontani</i>		neumanniana		2,41	20	0,6	33.333
<i>Thymus pulegioides</i>				2,41	20	0,12	166.667
Summen				100	831		2.139.175

Abbildung 56: Zusammensetzung der Artenreichen Saatgutmischung für die Begrünung von Gleiskörpern in Graz (SCHARF 2009).

Saatgutmischung Straßenbahngleiskörper Graz 2009							
Variante 2 - Trockenresistenz optimierte Saatgutmischung							
Arten	Sorten	alternative Sorten	Wuchshöhe	Mischungsanteil in		Tausendkorn-gewicht	Samen
				Gewichts-%	Gramm		
Gräser	insgesamt			74,12	590		1.325.750
<i>Festuca ovina duriuscula</i>			10-60	6,28	50	0,7	71.429
<i>Festuca ovina s.str.</i>		Mecklenburger	10-60	12,56	100	0,7	142.857
<i>Cynodon dactylon</i>			10-40	6,28	50	1	50.000
<i>Cynosurus echinatus</i>			20-60	6,28	50	0,55	90.909
<i>Festuca valesiaca</i>			20-30	20,10	160	0,45	355.556
<i>Koeleria macrantha</i>		vallesiana	20-50	6,28	50	0,5	100.000
<i>Lolium perenne</i>			10-60	3,77	30	2	15.000
<i>Poa compressa</i>	ssp. Compressa		20-50	12,56	100	0,2	500.000
Leguminosen	insgesamt			5,03	40		53.333
<i>Trifolium dubium</i>				1,26	10	0,45	22.222
<i>Trifolium campestre</i>		arvense		1,26	10	0,5	20.000
<i>Medicago lupulina</i>				2,51	20	1,8	11.111
Kräuter	insgesamt			20,85	166		863.374
<i>Achillea millefolium</i>				1,26	10	0,13	76.923
<i>Anthemis nobilis</i>				2,26	18	0,13	138.462
<i>Dianthus carthusianorum</i>				3,77	30	1,3	23.077
<i>Galium verum</i>				0,63	5	0,5	10.000
<i>Hieracium pilosella</i>				3,14	25	0,19	131.579
<i>Petrorhagia saxifraga</i>				3,52	28	0,16	175.000
<i>Plantago media</i>				1,26	10	0,24	41.667
<i>Potentilla tabernaemontani</i>		neumanniana		1,26	10	0,6	16.667
<i>Thymus pulegioides</i>				3,77	30	0,12	250.000
Summen				100	796		2.242.458

Abbildung 57: Zusammensetzung der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung für die Begrünung von Gleiskörpern in Graz (SCHARF 2009).

Saatgutmischung Straßenbahngleiskörper Graz 2009							
Variante 3 - Gräserreiche Saatgutmischung							
Arten	Sorten	alternative Sorten	Wuchshöhe	Mischungsanteil in		Tausendkorn-gewicht	Samen
				Gewichts-%	Gramm		
Gräser	insgesamt			81,25	650		1.473.528
<i>Festuca ovina duriuscula</i>			10-60	6,25	50	0,7	71.429
<i>Festuca ovina s.str.</i>		Mecklenburger	10-60	12,5	100	0,7	142.857
<i>Cynodon dactylon</i>			10-40	5	40	1	40.000
<i>Cynosurus echinatus</i>			20-60	6,25	50	0,55	90.909
<i>Festuca valesiaca</i>			20-30	15	120	0,45	266.667
<i>Festuca rubra commutata</i>	oder nigrescens		30-90	6,25	50	1,2	41.667
<i>Koeleria macrantha</i>		vallesiana	20-50	6,25	50	0,5	100.000
<i>Lolium perenne</i>			10-60	5	40	2	20.000
<i>Poa compressa</i>	ssp. Compressa		20-50	12,5	100	0,2	500.000
<i>Poa pratensis</i>			20-50	6,25	50	0,25	200.000
Leguminosen	insgesamt			3,75	30		37.778
<i>Trifolium dubium</i>				0,63	5	0,45	11.111
<i>Trifolium campestre</i>		arvense		0,63	5	0,5	10.000
<i>Trifolium repens</i>				0,63	5	0,6	8.333
<i>Medicago lupulina</i>				1,88	15	1,8	8.333
Kräuter	insgesamt			15	120		624.924
<i>Achillea millefolium</i>				0,63	5	0,13	38.462
<i>Anthemis nobilis</i>				1,25	10	0,13	76.923
<i>Dianthus carthusianorum</i>				1,25	10	1,3	7.692
<i>Galium verum</i>				0,63	5	0,5	10.000
<i>Hieracium pilosella</i>				1,25	10	0,19	52.632
<i>Petrorhagia saxifraga</i>				2,5	20	0,16	125.000
<i>Pimpinella saxifraga</i>				0,63	5	0,85	5.882
<i>Plantago media</i>				2,5	20	0,24	83.333
<i>Potentilla tabernaemontani</i>	oder verna	neumanniana		1,25	10	0,6	16.667
<i>Thymus pulegioides</i>				3,13	25	0,12	208.333
Summen				100	800		2.136.230

Abbildung 58: Zusammensetzung der Gräserreichen Saatgutmischung für die Begrünung von Gleiskörpern in Graz (SCHARF 2009).

In den Abbildungen 59 bis 61 sind die Mischungsverhältnisse der einzelnen Saatgutmischungen und die Anzahl der Samen, die in der Mischung enthalten sind, dargestellt. Der Einfluss des oben angesprochenen Tausendkorngewichts wird hier deutlich. Die Arten *Festuca ovina s.str.*, *Festuca valesiaca* und *Poa compressa* sind alle mit gleich vielen Gewichtsanteilen in der Saatgutmischung

vertreten, vor allem von *Poa compressa* sind aber viel mehr Samen in der Mischung als von *Festuca ovina s.str.* Die Anzahl der Samen spielt somit bei der Interpretation der Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade eine Rolle.

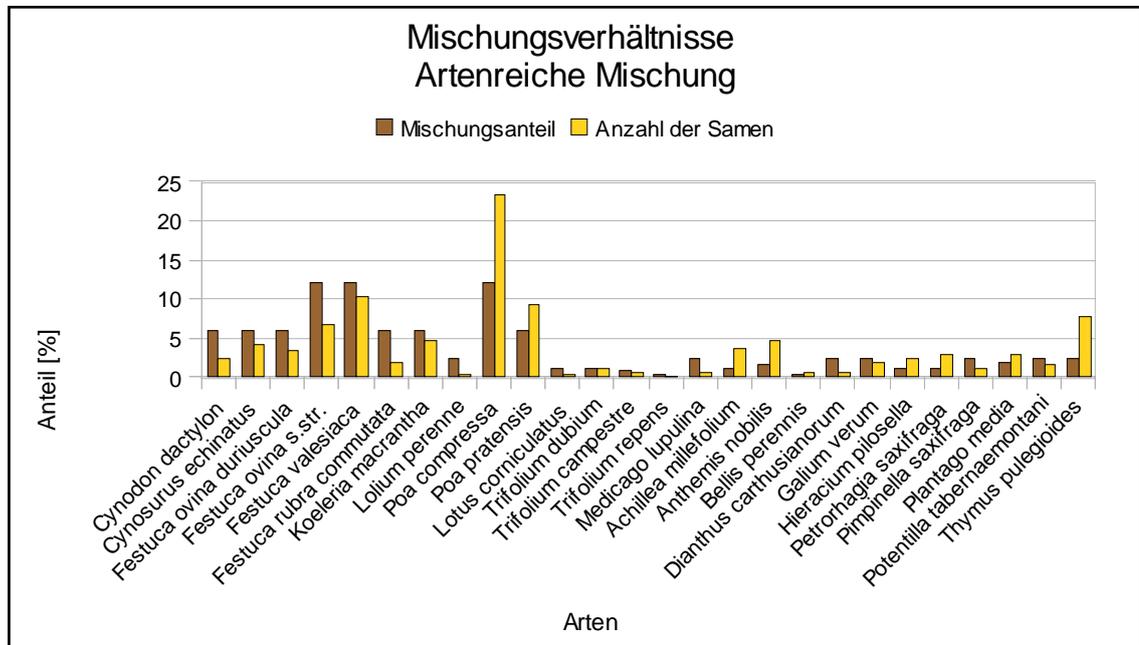


Abbildung 59: Mischungsverhältnisse bei der Artenreichen Saatgutmischung für die Begrünung von Gleisen in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. Vergleich der Mischungsanteile der einzelnen Arten mit der jeweiligen Anzahl der Samen.

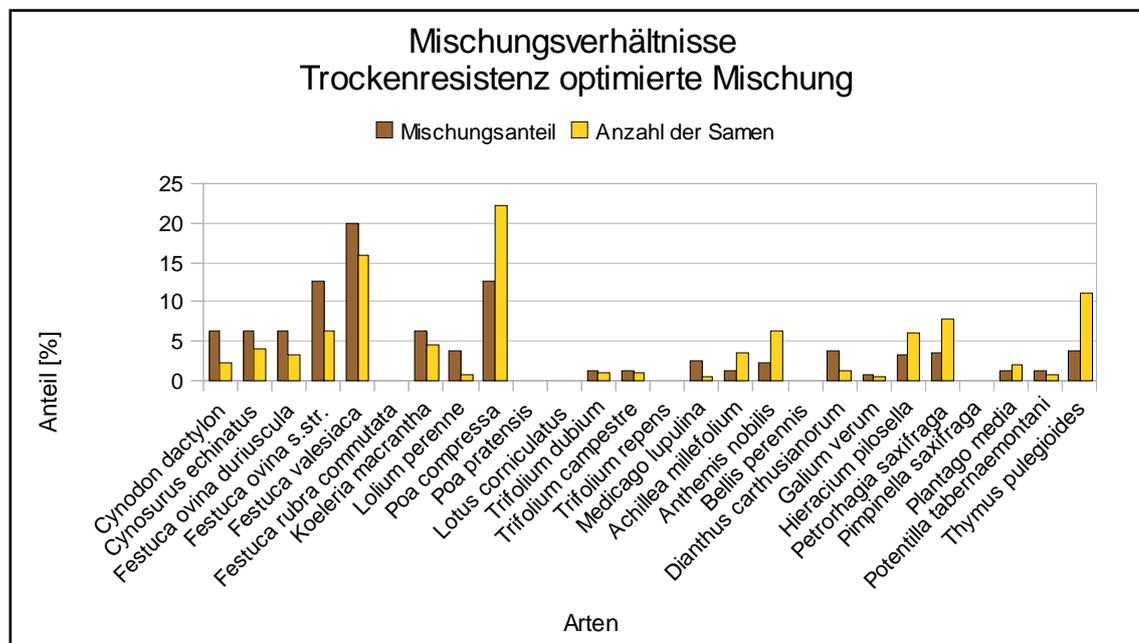


Abbildung 60: Mischungsverhältnisse bei der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung für die Begrünung von Gleisen in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. . Vergleich der Mischungsanteile der einzelnen Arten mit der jeweiligen Anzahl der Samen.

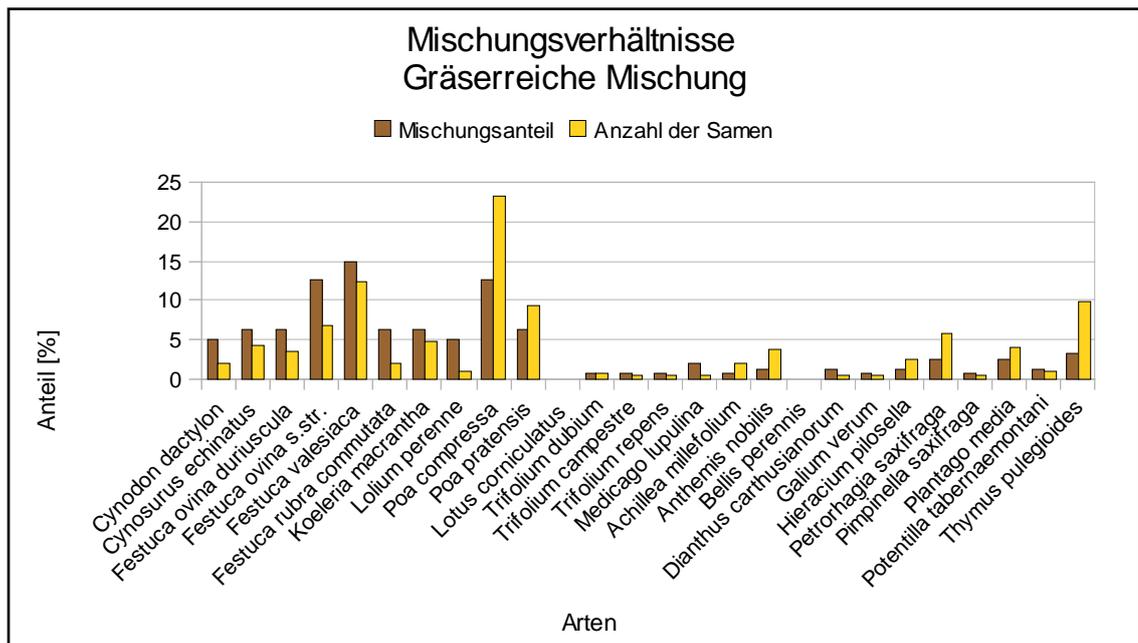


Abbildung 61: Mischungsverhältnisse bei der Gräserreichen Saatgutmischung für die Begrünung von Gleisen in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. . Vergleich der Mischungsanteile der einzelnen Arten mit der jeweiligen Anzahl der Samen.

3.4. Aufbringung des Saatguts

Das Saatgut wurde im Mai 2009, im Zuge der Errichtung der Versuchsflächen, händisch mit einer Ansaatmenge von rund 13 g/m² aufgebracht. Um einen Abtrag des Saatguts durch die Sogwirkung der Züge zu vermeiden, wurde ein Bindemittel verwendet. Das Produkt Bio-Algeen[®] des Herstellers Schulze und Hermsen GmbH ist ein organisches Klebemittel, welches mit Wasser verdünnt über das Saatgut verteilt wird. Es bildet einen wasserunlöslichen Ton-Humus-Komplex, indem es bei Bodenkontakt geliert.

Wegen schlechter Anwuchsraten, die vermutlich auf Grund der unzureichenden Dauerhaftigkeit des verwendeten Klebemittels zu Stande kamen, war eine Nachsaat notwendig. Diese wurde im September 2009 durchgeführt, wobei das Klebemittel Terra-Control[®] SC 823 zur Befestigung des Saatguts zur Anwendung kam. Eine dauernde Bewässerung des Saatguts war nicht vorgesehen, jedoch wurde im Zuge der Aufbringung des Klebemittels eine Anfangsbewässerung durchgeführt. In den Abbildungen 62 bis 67 sind die Arbeitsschritte bei der Aufbringung des Saatguts dargestellt.



Abbildung 62: Anfeuchten des Substrats. Vor der Ansaat wurde das Substrat benetzt, um das Anhaften des Saatguts zu begünstigen (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 63: Auswiegen des Saatguts. Pro Versuchsfläche wurde 13 g/m² angesät (SCHARF Mai 2009).

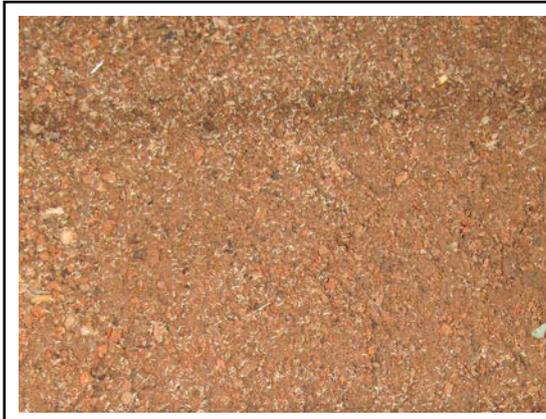


Abbildung 64: Gleichmäßig aufgebracht Saatgut zur Begrünung der Gleiskörper in der Conrad von Hötzendorfstraße (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 65: Der organische Kleber Bio-Algeen®. Mit Wasser vermisch bildet er eine Suspension, die bei Bodenkontakt geliert (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 66: Mischen des organischen Klebers Bio-Algeen® im Spritzfass (SCHARF Mai 2009).



Abbildung 67: Aufbringen des organischen Klebers mittels Schaufel als Prallkörper (SCHARF Mai 2009).

4. VEGETATIONSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN - METHODIK UND ERGEBNISSE

Dieses Kapitel handelt von den durchgeführten vegetationstechnischen Untersuchungen. Zur Kontrolle ist das Saatgut einer Keimfähigkeitsprüfung unterzogen worden. Außerdem wurde der Gesamtdeckungsgrad, der Einzeldeckungsgrad und das Gräser-Kräuter Verhältnis der aufgebrauchten Saatgutmischungen auf den Versuchsfeldern ermittelt. Dazu wurden zwei Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Die erste fand Ende Oktober 2009 statt, die zweite im Mai 2010.

4.1. Keimfähigkeitsprüfung

Als Qualitätskontrolle des Saatguts wurde eine Keimfähigkeitsprüfung in Anlehnung an die ISTA (International Seed Testing Association) durchgeführt. Die von der ISTA (2008) entwickelten Vorschriften enthalten Definitionen und Methoden zur Prüfung von Saatgut, um eine Einheitlichkeit im internationalen Handel herzustellen. Bei diesem Verfahren geht es darum, den Prozentsatz der Keimfähigkeit festzustellen. Das ist der Anteil jener Samen, die in der Lage sind gesunde Pflanzen hervorzubringen. Um die Wiederholbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, findet die Keimfähigkeitsprüfung unter kontrollierten äußeren Bedingungen im Labor statt. Außerdem muss die Prüfung mit reinen Samen erfolgen, die keine außer der von der ISTA empfohlenen Vorbehandlungen erhalten haben (siehe Abbildung 68).

Die Keimfähigkeit des Saatguts ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal, aber auch ein Kriterium bei der Zusammenstellung von Saatgutmischungen. Arten mit einer geringen Keimfähigkeit sollten entsprechend stärker dosiert werden (SCHARF 2001). Allerdings kann die Keimfähigkeit von Saatgut in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf des Erntejahres erheblich schwanken (NIESEL 2002). Die Ergebnisse der Keimfähigkeitsprüfung sollen in dieser Arbeit die Interpretation der Ergebnisse aus den Vegetationsaufnahmen unterstützen.

Die Mindestkeimfähigkeit für zertifizierte landwirtschaftliche Kulturarten inklusive Gräser, Rasensorten und Leguminosen ist in Österreich mit

70-90 % festgelegt, Werte unter 80 % gelten jedoch nur für Ausnahmen (FLORINETH 2004). Laut FLL RSM (2008) liegt die Mindestkeimfähigkeit von Wildpflanzensaatgut aus Vermehrungsbeständen, die nicht dem Saatgutverkehrsgesetz unterliegen, bei 70 %.

4.1.1. Einkeimung

Die Prüfung dauerte einen Monat und wurde nach den Vorschriften der ISTA (2008) durchgeführt. Gräser-, Leguminosen- und Kräutersamen wurden Ende September 2009 eingekeimt. In Abbildung 68 ist die Keimdauer der einzelnen Arten dargestellt.

Für die Keimung kam ein RUMED[®] Jacobsen-Keimapparat Serie 5001 zum Einsatz. Dieser besteht aus einer beheizbaren Wasserwanne, die mit einer gelochten Keimplatte überdeckt ist. Die Samen werden auf Filterpapier ausgezählt, welches auf eine Keimspirale aufgelegt wird. Die Keimspirale wird auf die Keimplatte gelegt und über einen Docht mit der Wasserwanne verbunden. Eine Glocke über dem Filterpapier sorgt dafür, dass die Samen nicht austrocknen.

Pro Art wurden 100 Samen ausgezählt und je 50 Stück auf zwei Filterpapierscheiben mit Pinzetten aufgelegt (top of paper). Bei den Leguminosen und den Kräutern wurde das Filterpapier davor in destilliertes Wasser getaucht, bei den Gräsern in 0,2%ige Kaliumnitratlösung (KNO₃). Da die Leguminosen Dunkelkeimer sind, wurden sie mit einer schwarzen Glocke abgedeckt, die Gräser und Kräuter bekamen als Lichtkeimer eine transparente Glocke. Die Temperatureinstellungen betragen jeweils 10 Stunden bei 20C° ohne Licht bzw. bei 30C° mit Licht. Die Aufwärm- und Abkühlphase dazwischen betrug jeweils eine Stunde. Abbildung 68 stellt die Temperaturangaben laut ISTA dar, sowie die durchgeführten Vorbehandlungen.

In den Abbildungen 69 bis 74 sind die Schritte der Einkeimung dargestellt.

Keimfähigkeitsprüfung 2009					
Arten	Datum der Einkeimung	Temperatur	Erstauszählung nach Tagen	Endauszählung nach Tagen	Vorbehandlung
Leguminosen					
Trifolium dubium	23.09.09	20	5	14	/
Trifolium repens	23.09.09	20	5	14	/
Medicago lupulina	23.09.09	20	5	14	/
Lotus corniculatus	23.09.09	20	5	14	/
Trifolium campestre	23.09.09	20	5	14	/
Kräuter					
Plantago media	24.09.09	20-30	7	19	/
Pimpinella saxifraga	24.09.09	20-30	6	19	/
Thymus pulegioides	24.09.09	20-30	6	19	/
Hieracium pilosella	24.09.09	20-30	6	19	/
Petrorhagia saxifraga	24.09.09	20-30	6	13	/
Achillea millefolium	24.09.09	20-30	6	13	/
Dianthus carthusianorum	24.09.09	20-30	6	13	/
Bellis perennis	24.09.09	20-30	6	13	/
Anthemis nobilis	24.09.09	20-30	6	13	/
Galium verum	24.09.09	20-30	6	33	/
Potentilla tabernaemontani	24.09.09	20-30	6	33	/
Gräser					
Koeleria macrantha	23.09.09	20-30	7	34	KNO ₃
Festuca valesiaca	23.09.09	20-30	7	20	KNO ₃
Cynosurus echinatus	23.09.09	20-30	8	20	KNO ₃
Festuca ovina duriuscula	23.09.09	20-30	7	20	KNO ₃
Festuca ovina s.str.	23.09.09	20-30	7	20	KNO ₃
Cynodon dactylon	23.09.09	20-30	7	20	KNO ₃
Festuca rubra commutata	23.09.09	20-30	7	20	KNO ₃
Poa compressa	23.09.09	20-30	13	34	KNO ₃
Poa pratensis	23.09.09	20-30	13	34	KNO ₃
Lolium perenne	23.09.09	20-30	7	14	KNO ₃

Abbildung 68: Übersicht zur Einkeimung der einzelnen Arten. Eingekeimt wurde an zwei Tagen im September 2009. Die Gräser wurden mit einer 0,2 %igen Kaliumnitratlösung vorbehandelt.



Abbildung 69: Desinfizierte Keimspiralen und Abdeckglocken im Keimlabor des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien (IBLB).



Abbildung 70: Keimspirale mit Docht, die bei der Erhebung der Keimfähigkeit des verwendeten Saatguts im September 2009 zur Anwendung kamen.



Abbildung 71: Auszählen des Saatguts. Mittels einer Pinzette werden die Samen auf ein mit destilliertem Wasser getränktem Filterpapier ausgezählt.

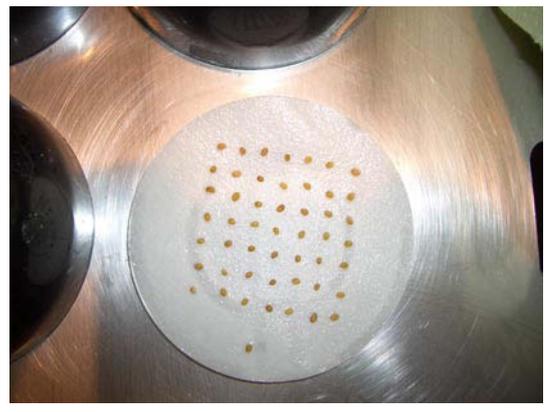


Abbildung 72: Ausgezählte Samen auf befeuchtem Filterpapier im Keimlabor des IBLB. Die Samen werden zu je 50 Stück auf dem Filterpapier aufgelegt.



Abbildung 73: RUMED® Jacobsen Keimapparat Serie 5001 im Keimlabor des IBLB.



Abbildung 74: Keimplatte mit Schlitzen, durch die der Docht gesteckt wird. Die Leguminosen werden mit dunkeln Glocken abgedeckt, die Gräser und Kräuter mit transparenten Glocken.

4.1.2. Auszählung

Die Auszählung der Keimlinge erfolgt, wie von der ISTA (2008) vorgeschrieben, in zwei Schritten, einer Erstauszählung und einer Endauszählung. Bei der Erstauszählung werden alle Keime, die sich soweit entwickelt haben, dass alle wichtigen Teile richtig beurteilt werden können, gezählt und entfernt. Zur Vermeidung von Infektionen sollten stark angefaulte Keimlinge auch entfernt, anormale Keimlinge jedoch bis zur Endauszählung belassen werden. Mehrsamige Fruchtgebilde werden als ein Keimling gezählt. Das Auszählungsprotokoll, welches zu diesen Zweck angefertigt wurde, befindet sich im Anhang 9.2. (Seite 126).

Die Einteilung der Keimlinge lautet wie folgt:

- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| Normale Keimlinge: | Intakte Keimlinge |
| | Keimlinge mit leichten Schäden |
| | Keimlinge mit Sekundärinfektion |
| Anormale Keimlinge: | Beschädigte Keimlinge |
| | Deformierte Keimlinge |
| | Angefaulte Keimlinge |
| Ungekeimte Samen: | Harte Samen |
| | Frische Samen |
| | Tote Samen |

Die Abbildungen 75 bis 78 zeigen Bilder von der Auszählung der Keimlinge und deren Einteilung.



Abbildung 75: Auszählen der Keimlinge. Mit einer Pinzette werden die Keimlinge vom Filterpapier entfernt und auf ein schwarzes Blatt Papier ausgelegt, wo sie in die unterschiedlichen Kategorien eingeteilt werden.

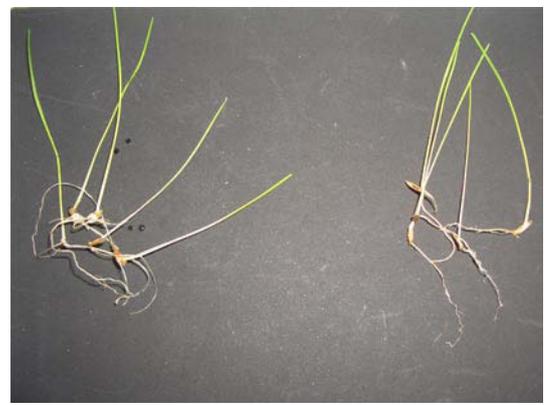


Abbildung 76: Normale Keimlinge mit gut entwickelten Wurzeln und Keimblättern.



Abbildung 77: Anormale Keimlinge mit defekter Wurzel oder defekten Keimblättern bei der Auszählung der Keimlinge im Keimlabor des IBLB im Oktober 2009.



Abbildung 78: Vergleich der Keimlinge. Normaler Keimling (unten rechts), anormale Keimlinge (unten links) und ungekeimte Samen (oben rechts).

4.1.3. Ergebnisse der Keimfähigkeitsprüfung

Die Ergebnisse der Keimfähigkeitsprüfung, der für die drei Saatgutmischungen verwendeten Pflanzenarten, ist in Abbildung 79 dargestellt. Keine der Gräser erreichte die Mindestkeimfähigkeit von 80 % (ISTA 2008). Auch bei den Leguminosen erlangten keine der Arten die Mindestkeimfähigkeit von 80 %. Bei den Kräutern konnte bei *Anthemis nobilis*, *Bellis perennis*, *Achillea millefolium* und *Petrorhagia saxifraga* eine Mindestkeimfähigkeit für spezielle Arten von 70 % festgestellt werden.

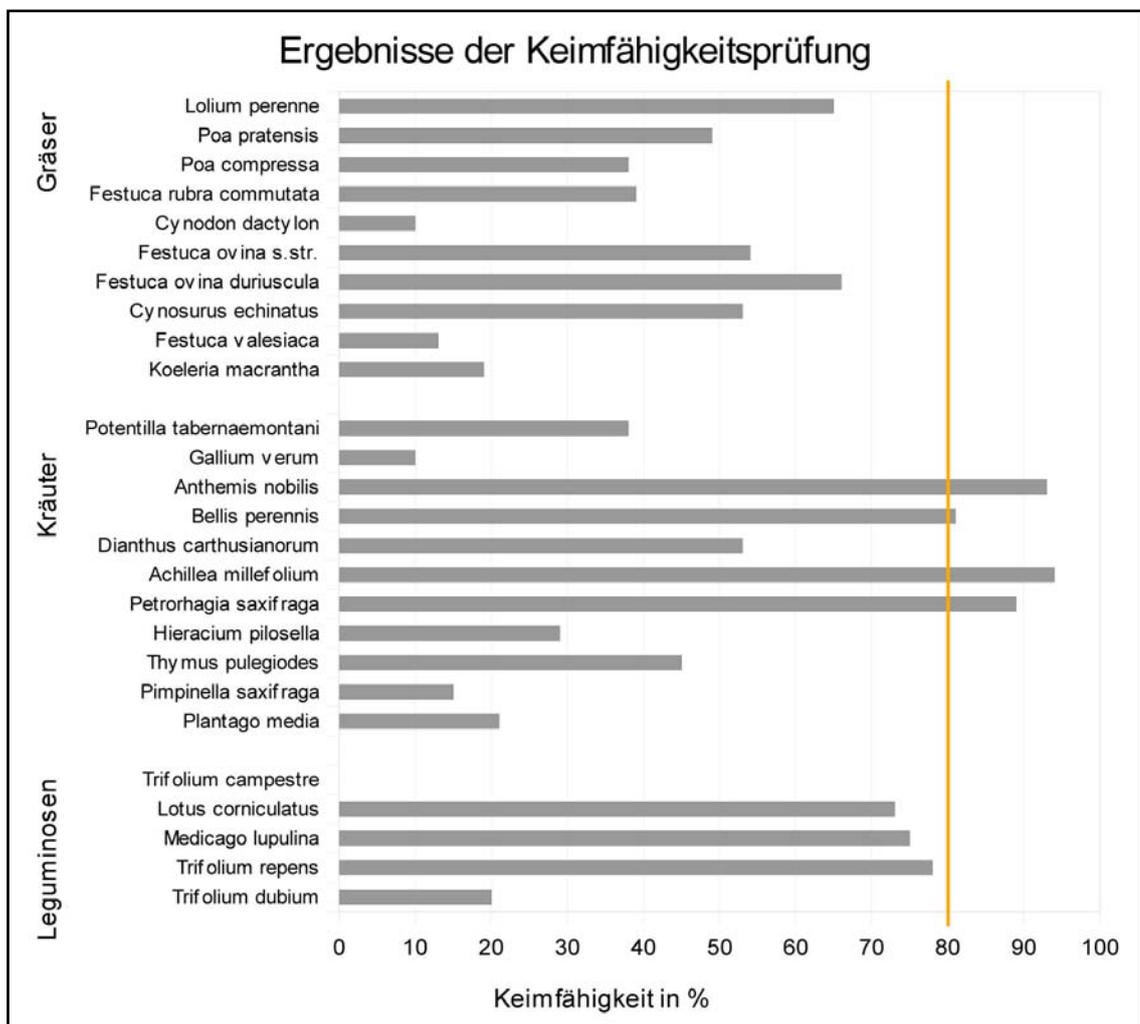


Abbildung 79: Ergebnisse der Keimfähigkeitsprüfung der verwendeten Pflanzenarten in den Saatgutmischungen für die Begrünung von Straßenbahn-Gleiskörpern in der Conrad von Hötendorfstraße in Graz. Nur vier Arten erreichten die Mindestkeimfähigkeit von 80 %.

4.2. Erhebung der Gesamtdeckungsgrade

Als Gesamtdeckungsgrad wird die von Vegetation bedeckte Fläche als Anteil an der Gesamtfläche bezeichnet (TREMP 2005). Die Ermittlung des Gesamtdeckungsgrads erfolgte mit Hilfe der visuellen Deckungsschätzung. Über die Erhebung des Gesamtdeckungsgrads sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie hoch ist der Gesamtdeckungsgrad der einzelnen Saatgutmischungen?
- Gibt es Unterschiede zwischen den beiden Aufbauvarianten?

4.2.1. Beschreibung der visuellen Deckungsschätzung

Bei der visuellen Deckungsschätzung wird die projektive Bodenbedeckung der Vegetation als Anteil an der Gesamtfläche dargestellt. Dabei handelt es sich um eine Methode, die sehr schnell und leicht durchzuführen und bei allen Struktur- und Vegetationstypen anwendbar ist. Da die Schätzung gewissen Schätzfehlern wie Subjektivität, Sonnenstand oder Artzusammensetzung eines Bestandes unterlegen ist, empfiehlt es sich, die Aufnahme zumindest zu Zweit durchzuführen. Bei der gemeinsamen Schätzung muss ein Konsens gefunden und grobe subjektive Fehler können so aufgedeckt und korrigiert werden. Der Schätzfehler wird auch geringer, je kleiner die betrachtete Fläche ist, da diese auf einmal überblickt werden kann. Daher ist es als Schätzhilfe sinnvoll größere Flächen gedanklich in Quadrate zu teilen. Am besten werden bei der Schätzung die von Vegetation bedeckten Flächen gedanklich in eine Ecke verschoben, bis diese eine einfache Unterteilung der Fläche (zum Beispiel ein Viertel) ergibt. Wenn man zuvor die Fläche gedanklich geteilt hat, muss man das Ergebnis auf die Gesamtfläche hoch rechnen (TRAXLER 1997).

Die Deckungsgradschätzungen fanden im Zuge der Vegetationsaufnahmen statt. Die erste Schätzung wurde am 23. Oktober 2009, die zweite Schätzung am 19. Mai 2010 durchgeführt. Pro Versuchsfläche wurde jeweils eine Aufnahme in 2,5 % Schritten durchgeführt, die von zwei Personen ermittelt worden ist.

4.2.2. Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade im Oktober 2009

Abbildung 80 zeigt den mittels visueller Deckungsschätzung ermittelten Gesamtdeckungsgrad bei den Aufnahmen im Oktober 2009. Die Deckungswerte liegen bei allen Saatgutmischungen auf beiden Aufbauvarianten deutlich über der Mindestdeckung von 50 %. Die Aufbauvariante 1 ist der Aufbauvariante 2 in Bezug auf die Gesamtdeckungsgrade bei den Vegetationsaufnahmen im Oktober bei allen Saatgutmischungen überlegen. Die Artenreiche Mischung erreicht auf beiden Aufbauvarianten Deckungsgrade über 90 %. Die Gräserreiche Mischung erzielt die schlechtesten Deckungsgrade mit Werten von 85 % und 75 %.

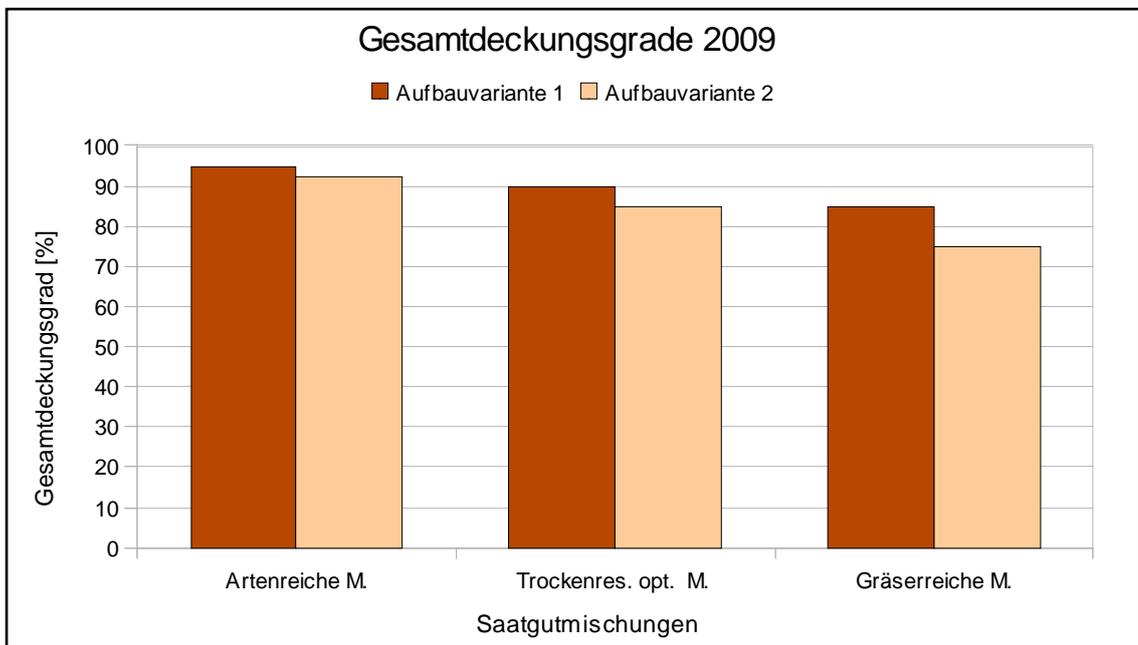


Abbildung 80: Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade 2009 der Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. Die Deckungsgrade wurden mittels der visuellen Deckungsschätzung erhoben.

4.2.3. Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade im Mai 2010

Abbildung 81 zeigt die Ergebnisse der mittels visueller Deckungsschätzung ermittelten Gesamtdeckungsgrade der Vegetationsaufnahmen im Mai 2010. Auf keiner der Versuchsflächen konnten Deckungswerte über 50 % erreicht werden. In zwei von drei Fällen ist die Aufbauvariante 1 der Aufbauvariante 2 überlegen. Auf der Aufbauvariante 1 erreicht die Trockenresistenz optimierte Mischung mit 50 % die besten Deckungswerte vor der Gräserreichen Mischung mit 40 % und der Artenreichen Mischung mit 25 %. Auf der Aufbauvariante 2 erreicht die Artenreiche Mischung die besten Deckungswerte mit 50 % vor der Trockenresistenz optimierten Mischung mit 15 % und der Gräserreichen Mischung mit 5 %. Die schlechten Deckungsgrade der Artenreichen Mischung auf der Aufbauvariante 1 und der Gräserreichen Mischung auf der Aufbauvariante 2 sind zum Großteil auf eine nicht vorschriftsmäßige Befahrung des Winterräumdienstes auf diesen Flächen zurückzuführen.

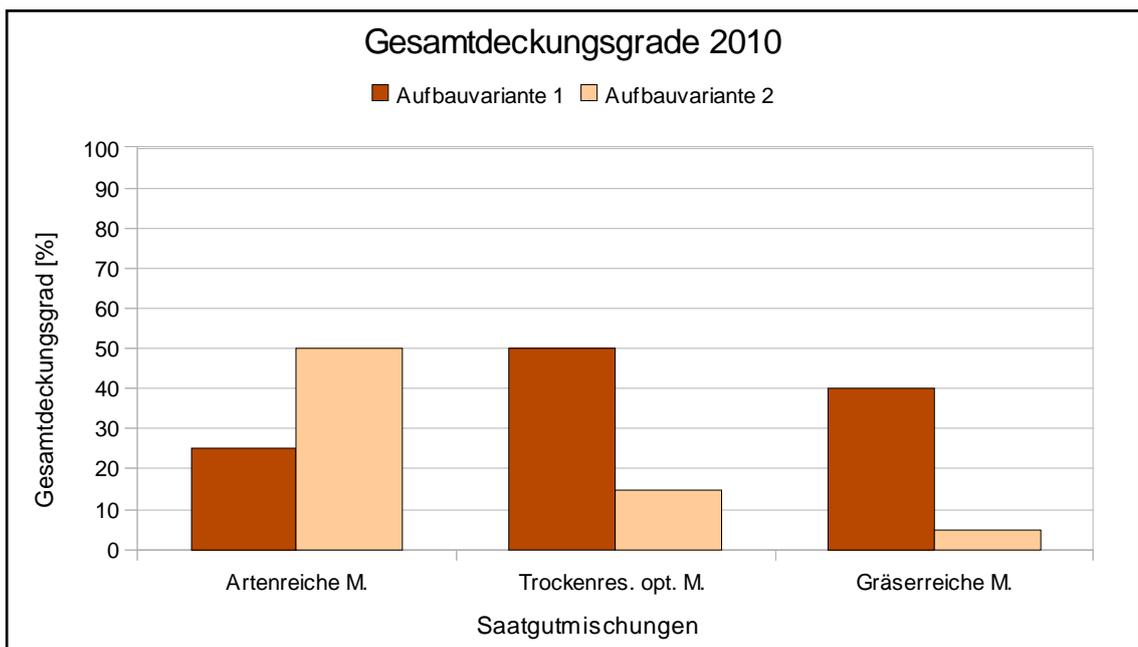


Abbildung 81 : Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade 2010 der Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. Die Deckungsgrade wurden mittels der visuellen Deckungsschätzung erhoben.

4.2.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei der ersten Vegetationsaufnahme konnten deutlich bessere Deckungswerte als bei der zweiten Aufnahme festgestellt werden, was vor allem auf den starken Rückgang von *Cynodon dactylon* zurückzuführen ist (siehe Kapitel 4.3.). Bei den Vegetationsaufnahmen im Mai 2010 konnte nur auf zwei Flächen die Mindestdeckung von 50 % festgestellt werden. Die Gräserreiche Mischung bzw. die Aufbauvariante 2 erzielten schon im Oktober 2009 im Vergleich mit den anderen Varianten schlechtere Ergebnisse. Dies wurde bei den Aufnahmen im Mai 2010 bestätigt, wobei die Ergebnisse aus den Flächen Artenreiche Mischung auf Aufbauvariante 1 und Gräserreiche Mischung auf Aufbauvariante 2, die jeweils an den Enden der Versuchsstrecke liegen, durch unsachgemäße Winterbetreuung beeinträchtigt worden sind. Die Überfahung der Versuchflächen durch einen Schneepflug des Straßenräumdienstes fand vor allem in diesen Bereichen statt, wodurch die noch vorhandene Vegetation, und hier vor allem das *Cynodon dactylon* mit seinen langen Ausläufern, weggerissen worden ist. Die sehr geringen Deckungsgrade der Aufnahmen im Mai 2010 hängen auch mit dem frühen Aufnahmetermin zusammen. Die kalte Witterung im Frühling 2010 führte zu einem verspäteten Einsetzen der Vegetation.

4.3. Erhebung der Einzeldeckungsgrade

Die Entwicklung der einzelnen Arten auf den Versuchsflächen wurde über die Erhebung der Einzeldeckungsgrade festgestellt, wozu die Point-Line Methode zur Anwendung kam. Die erste Aufnahme fand vom 20. - 23. Oktober 2009 statt, wobei die Vegetationszusammensetzung fünf Monate nach Ansaat kontrolliert wurde. Bei der zweiten Vegetationsaufnahme, vom 17. - 19. Mai 2010, sollte die Entwicklung der Vegetation zwölf Monate nach Ansaat ermittelt werden. Aufgrund schwieriger Aufnahmebedingungen wurden bei den Vegetationsaufnahmen gewisse Arten zusammen gefasst. *Poa compressa* und *Poa pratensis* wurden als *Poa sp.* aufgenommen. *Festuca ovina duriuscula* und *Festuca ovina s. str.* wurden als *Festuca ovina* erhoben.

Folgende Fragen sollen durch die Erhebung der Einzeldeckungsgrade beantwortet werden:

- Wie hoch ist der Einzeldeckungsgrad für jede Art?
- Gibt es Unterschiede bei den Einzeldeckungsgraden zwischen den Saatgutmischungen?
- Welche Arten sind für die Standortbedingungen gut geeignet?
- Gibt es Unterschiede zwischen den beiden Aufbauvarianten?
- Gibt es Unterschiede zwischen der ersten und der zweiten Vegetationsaufnahme?

4.3.1. Beschreibung der Point-Line Methode

Die Point-Line Methode kommt aus dem englischsprachigen Raum. Sie wurde in Neuseeland entwickelt um Wiesenbestände aufzunehmen (KNAPP 1971). In deutschsprachigen Ländern wird sie auch als Punktmethode (TREMP 2005) oder Punktfrequenzmethode bezeichnet (DIERSCHKE 1994). Mit der Methode wird festgestellt, an wievielen Punkten, die zufällig über eine bestimmte Fläche verteilt sind, Teile von oberirdischen Organen einer Pflanzenart vorhanden sind. Dadurch können Bedeckungsanteile der einzelnen Arten einer Fläche erhoben werden (KNAPP 1983). Grundlage dieser Methode sind regelmäßige Punktmessungen, die entlang einer Linie durchgeführt werden (TRAXLER 1997). Voraussetzung ist die Zufälligkeit der Punktmessungen,

was dadurch erreicht wird, dass entlang von Linien oder nach Zufall verteilt in bestimmten oder regelmäßigen Abständen Nadeln in den Boden gesteckt werden. Alle Pflanzen, die die Nadel durchbohrt oder berührt, werden notiert (DIERSCHKE 1994). Mit Hilfe von Rahmen oder anderen Vorrichtungen können die Einstichstellen gleichmäßig verteilt werden. Durch Perforierungen in einem Rahmen, der senkrecht in den Pflanzenbestand gestellt wird, können Metallstäbe oder Nadeln gesteckt werden, die die Pflanzen durchbohren oder berühren, wenn sie auf den Boden abgesenkt werden. Der Rahmen wird meist entlang eines Transekts in bestimmten Abständen versetzt (PFADENHAUER 1997). Wenn man die Zahl der Berührungen oder auch Treffer durch die Zahl der Gesamtpunkte dividiert, erhält man die Frequenz, die sich bei entsprechendem Stichprobenumfang einer genauen Deckungsbestimmung annähert (TREMP 2005). Die Anzahl der Treffer pro Art ist somit ein Maß für die Dominanz und Abundanz (PFADENHAUER 1997). Die Abundanz bezeichnet die Individuenzahl einer Art, während die Dominanz den Deckungsgrad bezeichnet. Das ist jene Fläche, die bei senkrechter Projektion aller oberirdischer, lebender Pflanzenteile auf den Boden entsteht und in Prozent an der Gesamtfläche ausgedrückt wird (DIERSCHKE 1994).

Die Point-Line Methode ist gut geeignet für niedrigwachsende, artenarme Bestände oder Pflanzengesellschaften, in denen Gräser vorherrschen. Durch die einheitlichen Grundbedingungen ergibt sich eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Die Genauigkeit der Aufnahmen ist abhängig von der Anzahl der aufgenommenen Punkte. Grundsätzlich kann mit steigender Anzahl der Punkte eine bessere Annäherung an die tatsächlichen Bedeckungsverhältnisse erreicht werden. Aber je häufiger eine Art vorhanden ist, desto weniger Aufnahmepunkte sind notwendig um die Bedeckungsverhältnisse darzustellen. Bei Bedeckungsanteilen einer Art von mehr als 20 % genügen relativ wenig Punkte. KNAPP (1983) spricht hier von 150-300 Punkten, wobei zwar nicht präzisiert wird, auf welcher Fläche, er erwähnt jedoch in weiterer Folge typische Aufnahmeflächen von 50-400 m². Arten mit geringen Bedeckungsanteilen (unter 5 %) kann man erst mit einer wesentlich höheren Anzahl (mehr als 400 Punkte) an Aufnahmepunkten repräsentativ erfassen. Die Unsicherheiten der Point-Line Methode sollten durch anschließende visuelle Deckungsschätzungen ausgeglichen werden.

Für die Vegetationsaufnahme in der Conrad von Hötzendorfstraße wurde ein spezieller Rahmen konstruiert, der über Laufräder in den Schienen fortbewegt wurde (siehe Abbildung 82). An einer Querstange wurden zwei absenkbare Metallstäbe befestigt, deren untere Enden die Messpunkte darstellten. Die Abstände der Metallstäbe zum linken Gleisbettrand betrug 4 cm und 63 cm. Die Querstange wurde in Abständen von 8 cm abgesenkt, wodurch zwei Transekte zu je 250 Punkten durch die Versuchsflächen entstanden (siehe Abbildung 83). Pro Versuchsfläche von etwa 30 m² konnten somit 500 Punkte aufgenommen werden.



Abbildung 82: Vegetationsaufnahme auf der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße im Mai 2010. Für die Vegetationsaufnahme unter den schwierigen Bedingungen auf dem Straßenbahngleis wurde ein Aufnahmegerät konstruiert, dass sich entlang der Schienen fortbewegen lies. Ein Maßband wurde neben den Schienen aufgeklebt und der Balken des Geräts alle 8 cm abgesenkt. Wenn die Spitzen der Metallstäbe des Geräts eine oder mehrere Pflanzen berührten, wurden diese aufgenommen (SCHARF, Mai 2010).

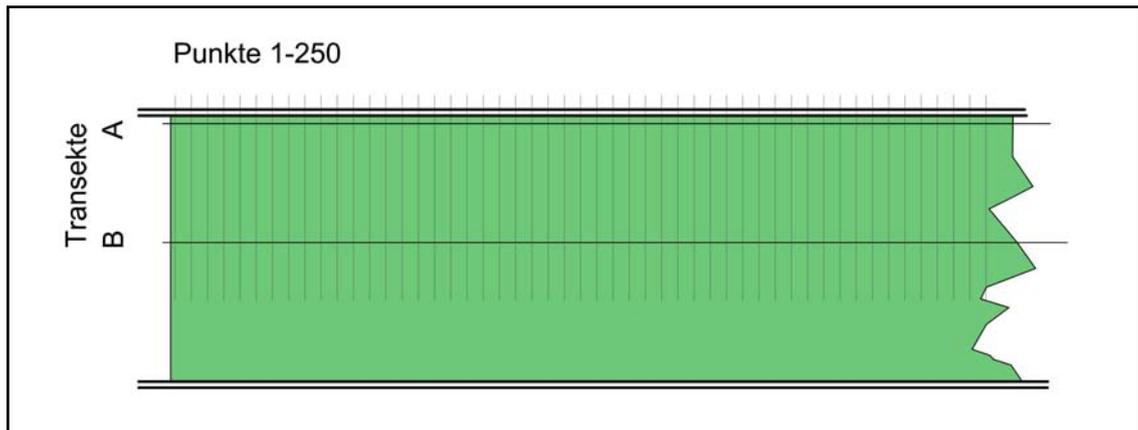


Abbildung 83: Schematische Darstellung der Aufnahmepunkte. Die Erhebung der Einzeldeckungsgrade auf den Versuchsflächen zur Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz erfolgte mittels Point-Line Methode. Pro Versuchsfläche wurde der Balken des Aufnahmegeräts 250 mal abgesenkt und jeweils zwei Punkte aufgenommen, woraus sich zwei Transekte ergaben. Auf jeder Versuchsfläche wurden somit 500 Punkte dokumentiert.

Aufgenommen wurde, ob der Metallstab auf Stein, Feinmaterial, Pflanze oder tote Pflanze traf und welche Pflanzenarten ihn berührten oder ob eine Blaike getroffen worden ist. Der Einzeldeckungsgrad ist somit der Anteil der Treffer einer Art an der Gesamtzahl der Punktmessungen. Der Gesamtdeckungsgrad ergibt sich über die Gesamtzahl der Punktmessungen minus der Anzahl der Blaiken. Das Aufnahmeprotokoll befindet sich im Anhang 9.2. (Seite 127).

4.3.2. Ergebnisse der ersten Vegetationsaufnahme im Oktober 2009

In den folgenden Abbildungen sind die Einzeldeckungsgrade aus der Vegetationsaufnahme im Oktober 2009 aller Saatgutmischungen auf den beiden Aufbauvarianten im Vergleich mit der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung dargestellt.

In den Abbildungen 84 und 85 sind die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade der artenreichen Mischung auf beiden Aufbauvarianten dargestellt. *Cynodon dactylon* erreichte in beiden Aufbauvarianten Deckungsgrade über 90 %, trotz eines sehr geringen Anteils in der Saatgutmischung. Gute Deckungsgrade erzielten ansonsten bei den Gräsern *Festuca ovina* und *Festuca valesiaca* mit Deckungsgraden über 10 % in beiden Aufbauvarianten. *Festuca rubra* erreichte in der Aufbauvariante 2 einen besseren Deckungsgrad von 15,5 % als in Aufbauvariante 1. Ähnlich verhält es sich mit *Lolium perenne* und *Poa sp.*, die in der Aufbauvariante 1 Deckungsgrade unter 10 % erreichten. In

der Aufbauvariante 2 ist *Lolium perenne* mit 33,3 % und *Poa sp.* mit 15 % Deckungsgrad vertreten. *Cynosurus echinatus* ist ausgefallen und *Koeleria macrantha* erreichte sehr geringe Deckungsgrade.

Die Leguminosen, die mit geringen Mischungsanteilen in der Mischung vorhanden sind, konnten sich generell auf der Aufbauvariante 1 besser entwickeln als auf Aufbauvariante 2. *Lotus corniculatus* und *Medicago lupulina* erreichten zwar auf der Aufbauvariante 2 mit 3,6 % und 6,2 % höhere Deckungswerte als auf der Aufbauvariante 1. Auf der Aufbauvariante 1 konnten sich jedoch alle vier vorhandenen Klee-Sorten gut entwickeln, während auf der Aufbauvariante 2 die Ergebnisse von *Trifolium dubium* und *Trifolium repens* eher schlecht sind. *Trifolium campestre* ist in beiden Aufbauvarianten ausgefallen.

Bei den Kräutern konnten sich die Arten *Achillea millefolium*, *Anthemis nobilis*, *Dianthus carthusianorum*, *Petrorhagia saxifraga*, *Plantago media*, *Bellis perennis* und auch *Potentilla tabernaemontani* gut entwickeln. Die Deckungsgrade waren auf der Aufbauvariante 1 höher als auf der Aufbauvariante 2. In der Aufbauvariante 1 erzielten vor allem *Achillea millefolium* und *Petrorhagia saxifraga* hohe Werte von 34,4 % und 29 %. *Anthemis nobilis* erreichte 18 %, *Bellis perennis* 9 %, *Dianthus carthusianorum* 11 %, *Plantago media* 12,8 % und *Potentilla tabernaemontani* 3,6 %.

Hieracium pilosella ist ausgefallen, *Galium verum* und *Thymus pulegioides* erreichten nur geringe Deckungsgrade.

Die beiden Aufbauvarianten unterscheiden sich durch höhere Deckungsgrade der Gräser in der Aufbauvariante 2 und höhere Deckungsgrade der Kräuter in der Aufbauvariante 1.

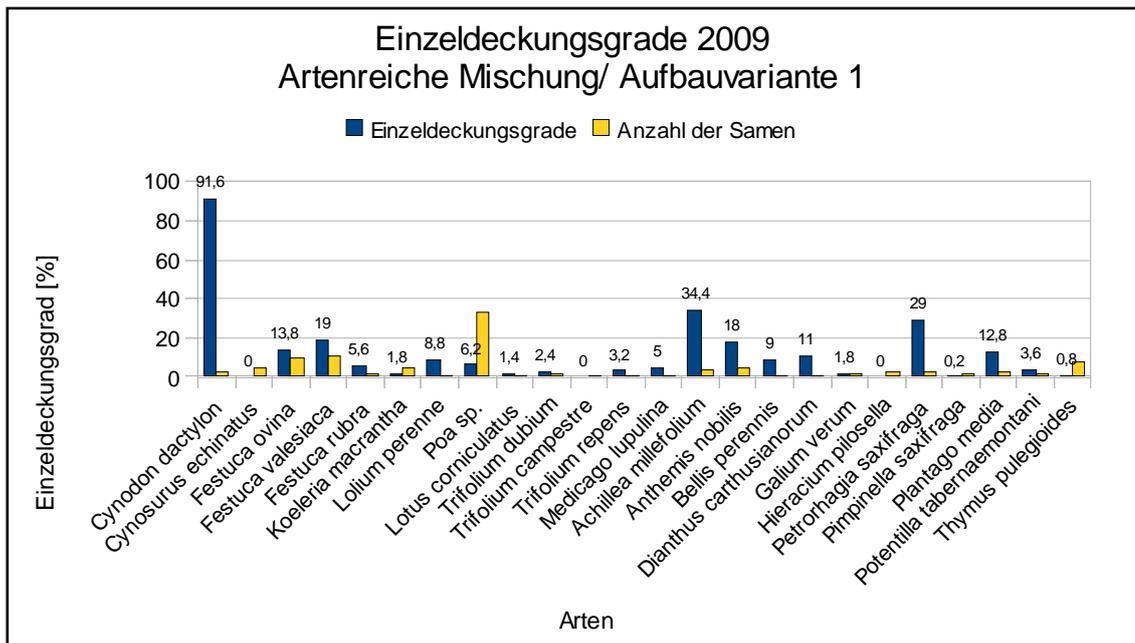


Abbildung 84: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Artenreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1 der Versuchsfleichen zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfleichen zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

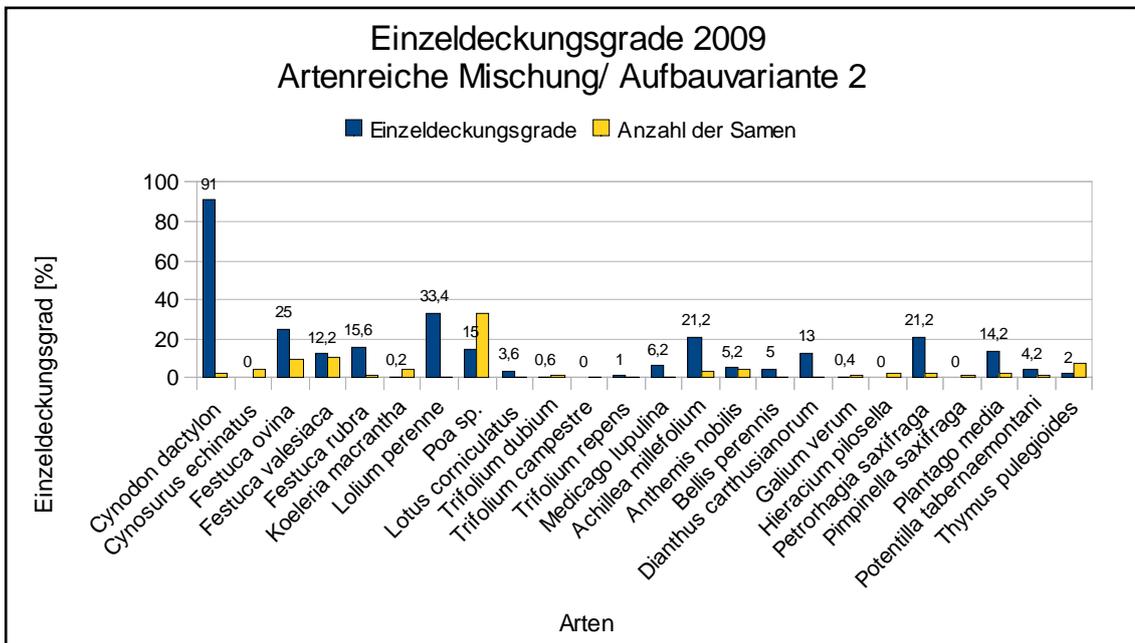


Abbildung 85: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Artenreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2 der Versuchsfleichen zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfleichen zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

In den Abbildungen 86 und 87 sind die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade im Vergleich mit der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung bei der Trockenresistenz optimierten Mischung dargestellt. In dieser Saatgutmischung sind *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens*, *Bellis perennis* und *Pimpinella saxifraga* nicht enthalten. Das geringe Vorkommen dieser Arten ist vermutlich auf Eintrag des Saatguts durch Verwehung zurückzuführen. *Cynodon dactylon* konnte in beiden Aufbauvarianten sehr hohe Deckungsgrade von 94 % und knapp 90 % erzielen.

Unter den Gräsern erreichte vor allem *Lolium perenne* im Vergleich mit der Anzahl der Samen in der Mischung in beiden Aufbauvarianten gute Deckungsgrade von 15 % in Aufbauvariante 1 und fast 34,4 % in Aufbauvariante 2. *Festuca ovina* entwickelte sich gut mit Deckungsgraden von 17,4 % auf der Aufbauvariante 1 und 24,5 % auf der Aufbauvariante 2. Etwas schlechter verhielt sich *Festuca valesiaca*, eine Art, die in hoher Anzahl in der Saatgutmischung vorhanden ist. Auf der Aufbauvariante 1 erreichte *Festuca valesiaca* 16,2 % und auf der Aufbauvariante 2 12,6 % Deckungsgrad. *Poa sp.* erreichte in beiden Aufbauvarianten geringe Deckungsgrade von unter 5 %, was auch daran liegt, dass *Poa compressa* in dieser Mischung nicht enthalten ist. Die Arten *Cynosurus echinatus* und *Koeleria macrantha* sind in dieser Begrünung ausgefallen.

Bei den Leguminosen ist *Medicago lupulina* in beiden Aufbauvarianten mit hohen Deckungsgraden von jeweils 5,6 % vertreten. Ansonsten erreichte nur *Trifolium dubium* in der Aufbauvariante 1 einen nennenswerten Deckungsgrad von 4,6 %.

Unter den Kräutern sind die Arten *Achillea millefolium*, *Anthemis nobilis*, *Dianthus carthusianorum*, *Petrorhagia saxifraga* und *Plantago media* mit hohen Deckungsgraden auf der Versuchsfläche vorhanden. Auf der Aufbauvariante 1 erreichten *Achillea millefolium* 24,5 %, *Anthemis nobilis* 14,4 %, *Dianthus carthusianorum* 7,6 %, *Petrorhagia saxifraga* 32,6 % und *Plantago media* 9,8 % Deckungsgrad. Auf der Aufbauvariante 2 konnten *Achillea millefolium* 21 %, *Anthemis nobilis* 11,2 %, *Dianthus carthusianorum* 9 %, *Petrorhagia saxifraga* 37,4 % und *Plantago media* 8,2 % Deckungsgrad erreichen.

Hieracium pilosella und *Pimpinella saxifraga* sind auf beiden Aufbauvarianten

ausgefallen. *Galium verum* und *Potentilla saxifraga* erreichten im Vergleich mit den anderen Arten geringe Deckungsgrade, diese Arten sind jedoch auch nur mit geringen Anteilen in der Saatgutmischung enthalten. *Thymus pulegioides* konnte sich, obwohl die Art mit vergleichsweise hohem Anteil in der Saatgutmischung enthalten ist, kaum entwickeln.

Im Vergleich mit der artenreichen Mischung macht sich der erhöhte Anteil an *Petrorhagia saxifraga* deutlich bemerkbar. Der höhere Anteil von *Anthemis nobilis* in der trockenresistenz optimierten Mischung wird nur auf der Aufbauvariante 2 deutlich. Der leicht höhere Anteil von *Dianthus carthusianorum* in der trockenresistenz optimierten Mischung zeigt auf der Versuchsfläche keine Entsprechung, im Gegenteil sind die Deckungsgrade hier geringer als bei der artenreichen Mischung. Wie auch bei der artenreichen Mischung sind die Deckungsgrade der Gräser auf der Aufbauvariante 2 höher als auf Aufbauvariante 1, vor allem bei *Lolium perenne* ist der Unterschied deutlich. Die Kräuter verhalten sich in dieser Mischung auf beiden Aufbauvarianten sehr ähnlich.

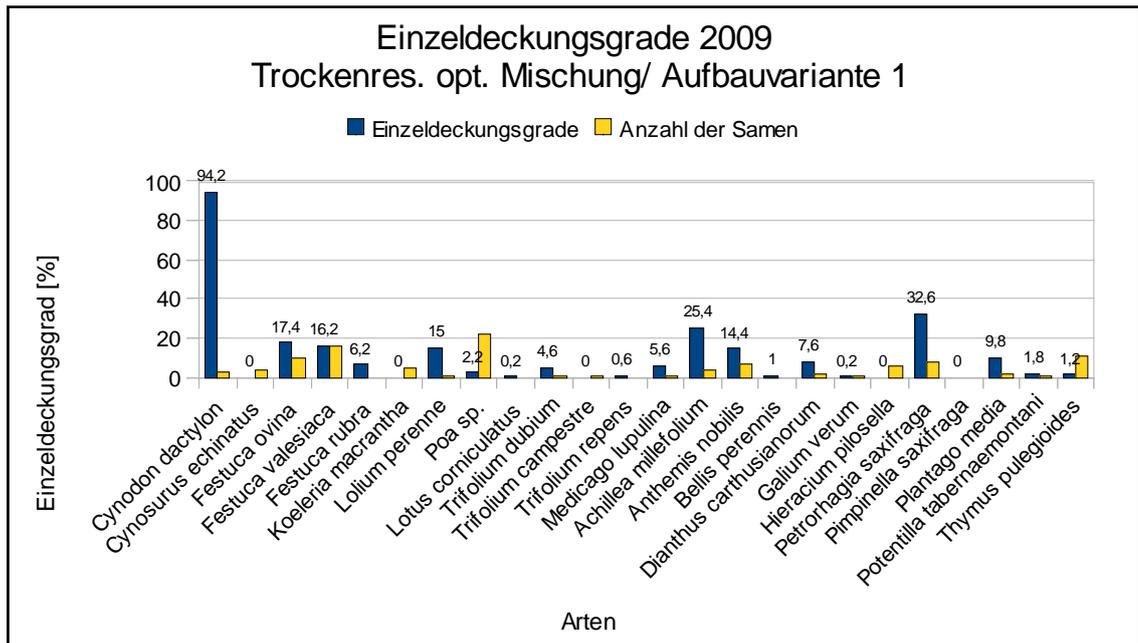


Abbildung 86: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

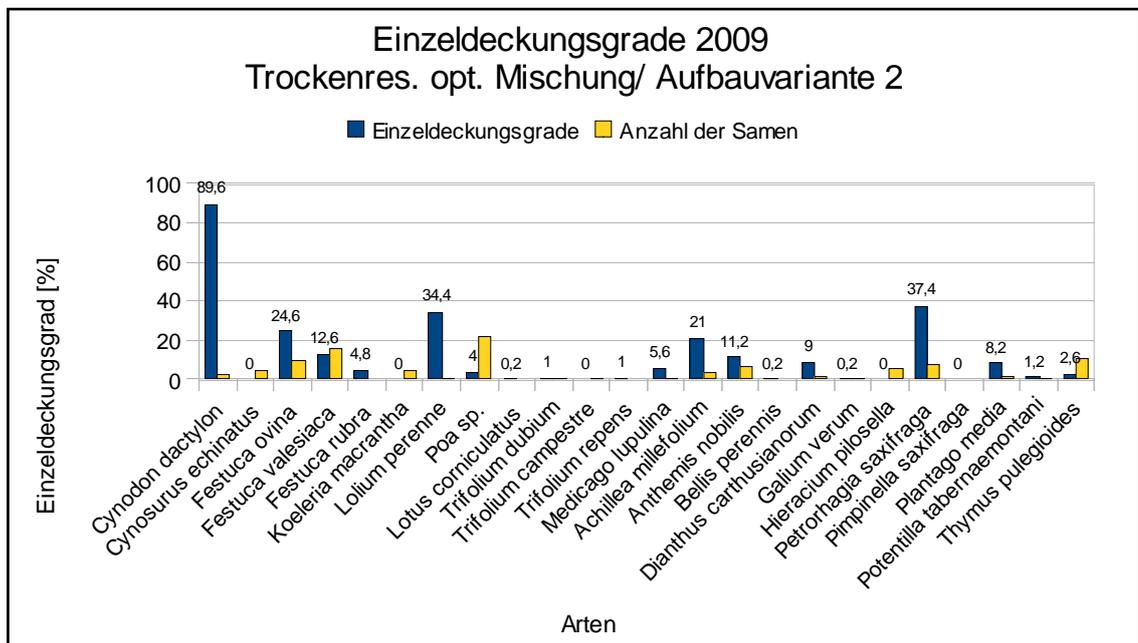


Abbildung 87: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

In den Abbildungen 88 und 89 sind die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade im Vergleich mit der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung bei der Gräserreichen Mischung dargestellt. In dieser Saatgutmischung sind die Arten *Lotus corniculatus* und *Bellis perennis* nicht enthalten. Wie in den anderen Begrünungen ist der Deckungsgrad von *Cynodon dactylon* in beiden Aufbauvarianten mit 87,8 % und 85,2 % sehr hoch. *Festuca ovina* und *Lolium perenne* erreichten in beiden Aufbauvarianten hohe Deckungsgrade von über 20 %. Die Deckungsgrade von *Festuca valesiaca*, *Festuca rubra* und *Poa sp.* sind vergleichsweise gering und liegen in beiden Aufbauvarianten unter 10 %. *Cynosurus echinatus* ist in dieser Begrünung ausgefallen und *Koeleria macrantha* erzielte nur einen sehr geringen Deckungsgrad.

Bei den Leguminosen erzielten *Trifolium dubium*, *Trifolium repens* und *Medicago lupulina* auf beiden Aufbauvarianten relativ hohe Deckungsgrade. In der Aufbauvariante 1 erreichten *Trifolium dubium* 1 %, *Trifolium repens* 2,6 % und *Medicago lupulina* 2,2 % Deckungsgrad. In der Aufbauvariante 2 erlangten *Trifolium dubium* 1,8 %, *Trifolium repens* 3,4 % und *Medicago lupulina* 5,6 % Deckungsgrad.

Bei den Kräutern sind die Arten *Achillea millefolium*, *Anthemis nobilis*, *Dianthus carthusianorum*, *Petrorhagia saxifraga* und *Plantago media* mit hohen Deckungsgraden vertreten. Auf der Aufbauvariante 1 erreichten *Achillea millefolium* 13 %, *Anthemis nobilis* 6,4 %, *Dianthus carthusianorum* 3,8 %, *Petrorhagia saxifraga* 24,6 % und *Plantago media* 12,2 % Deckungsgrad. Auf der Aufbauvariante 2 konnten *Achillea millefolium* 16 %, *Anthemis nobilis* 5,2 %, *Dianthus carthusianorum* 3,4 %, *Petrorhagia saxifraga* 22,8 % und *Plantago media* 12,8 % Deckungsgrad erreichen.

Die Arten *Hieracium pilosella* und *Pimpinella saxifraga* sind in beiden Aufbauvarianten ausgefallen und die Arten *Galium verum*, *Potentilla tabernaemontani* und *Thymus pulegioides* sind wie in der Begrünung mit der Trockenresistenz optimierten Mischung mit sehr geringen Deckungsgraden vertreten. Zwischen den beiden Aufbauvarianten sind bei der Gräserreichen Mischung keine deutlichen Unterschiede feststellbar. Der geringere Kräuteranteil in der Gräserreichen Mischung ist vermutlich der Grund für die im Vergleich mit den anderen Begrünungen geringsten Gesamtdeckungsgrade.

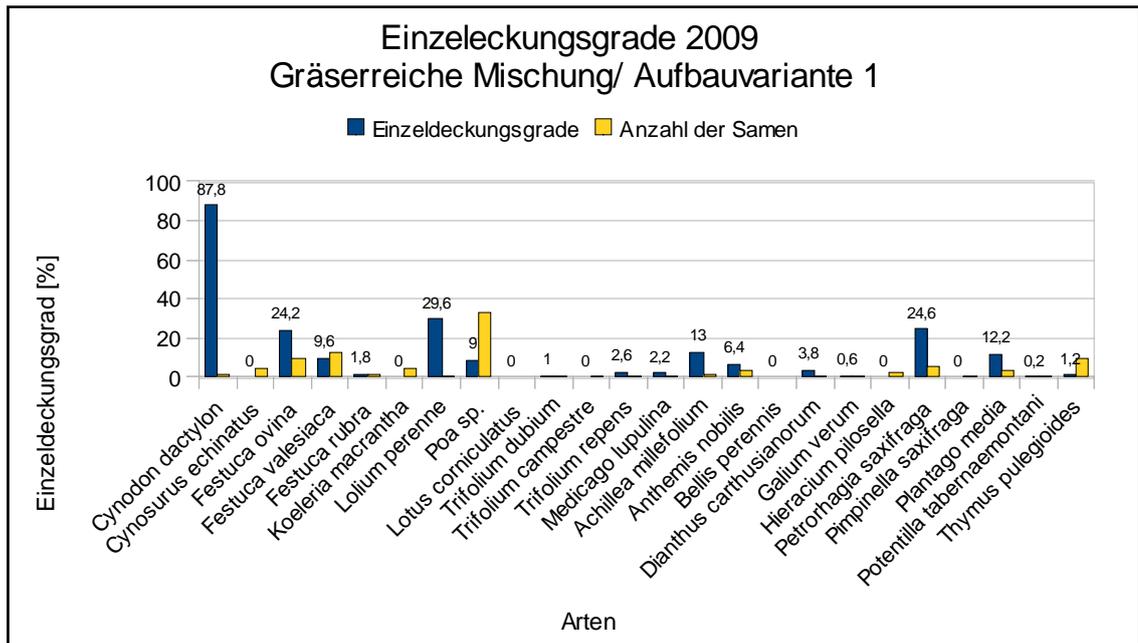


Abbildung 88: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Gräserreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

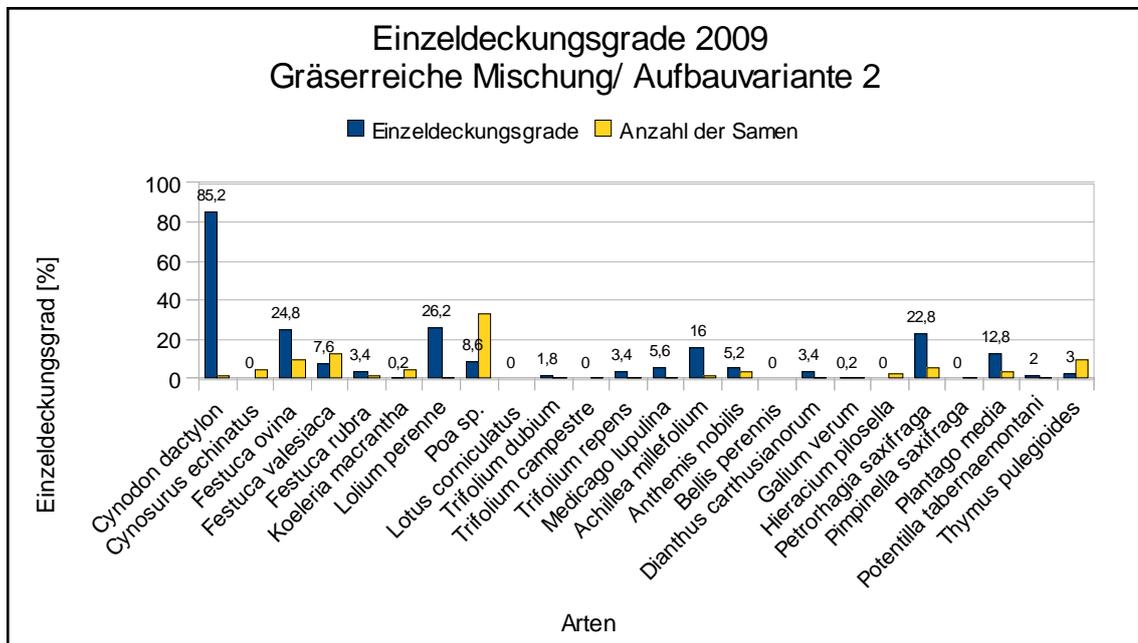


Abbildung 89: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Gräserreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass *Cynodon dactylon* in allen Begrünungen und auf beiden Aufbauvarianten sehr hohe Deckungsgrade erreichte. Die Art erlangte in allen Saatgutmischungen einen Deckungsgrad um 90 %, während die Deckungsgrade der anderen Arten unter 40 % lagen. Die Arten *Cynosurus echinatus*, *Trifolium campestre* und *Hieracium pilosella* sind in keiner Versuchsfläche aufgegangen. Arten, die in allen Begrünungsvarianten sehr geringe Deckungsgrade von unter 3 % erreichten, sind *Koeleria macrantha*, *Galium verum*, *Pimpinella saxifraga*, und *Thymus pulegioides*. Bei den Gräsern sind vor allem *Festuca ovina*, *Festuca valesiaca* und *Lolium perenne* stark vertreten. Auffallend sind die hohen Deckungsgrade von *Lolium perenne*, vor allem wenn man sie mit den eher geringen Anteilen in den Saatgutmischungen vergleicht. Die Leguminosen erzielten in allen Begrünungsvarianten geringe Deckungsgrade, was ihrem Anteil in den Saatgutmischungen entspricht. Bei den Kräutern sind *Achillea millefolium* und *Petrorhagia saxifraga* in allen Saatgutmischungen mit hohen Deckungsgraden vertreten.

4.3.3. Ergebnisse der zweiten Vegetationsaufnahme im Mai 2010

Die folgenden Abbildungen zeigen die Einzeldeckungsgrade aus der Vegetationsaufnahme im Mai 2010 aller Begrünungsvarianten auf den beiden Aufbauvarianten im Vergleich mit der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung.

In den Abbildungen 90 und 91 sind die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade bei der artenreichen Mischung auf beiden Aufbauvarianten dargestellt. Bei den Gräsern konnten vor allem *Lolium perenne* und *Poa sp.* hohe Deckungsgrade in beiden Aufbauvarianten erzielen. In der Aufbauvariante 1 erreichten *Cynodon dactylon* 6,6 %, *Festuca ovina* 3,6 %, *Festuca valesiaca* 0,8 %, *Festuca rubra* 0,8 %, *Lolium perenne* 25,6 % und *Poa sp.* 22,6 % Deckungsgrad. In der Aufbauvariante 2 konnten *Cynodon dactylon* 12,2 %, *Festuca ovina* 3 %, *Festuca valesiaca* 12,4 %, *Festuca rubra* 9,4 %, *Lolium perenne* 48,5 % und *Poa sp.* 34,8 % Deckungsgrad erzielen. *Cynosurus echinatus* und *Koeleria macrantha* sind in beiden Aufbauvarianten ausgefallen.

Die Deckungsgrade der Leguminosen waren in beiden Aufbauvarianten sehr

gering, nur *Lotus corniculatus* erreichte nennenswerte Deckungsgrade von 1,8 % und 0,8 %. *Trifolium dubium* und *Trifolium campestre* sind ausgefallen.

Unter den Kräutern konnten sich nur die Arten *Achillea millefolium* und *Plantago media* entwickeln, die anderen Arten erreichten auf beiden Aufbauvarianten Deckungsgrade von höchstens 2 %. Auf der Aufbauvariante 1 erreichte *Achillea millefolium* 9 % und *Plantago media* 16,2 % Deckungsgrad. Auf der Aufbauvariante 2 konnte *Achillea millefolium* nur 3,8 %, *Plantago media* 23,6 % Deckungsgrad erzielen. Ausgefallen sind die Arten *Hieracium pilosella* und *Thymus pulegioides*.

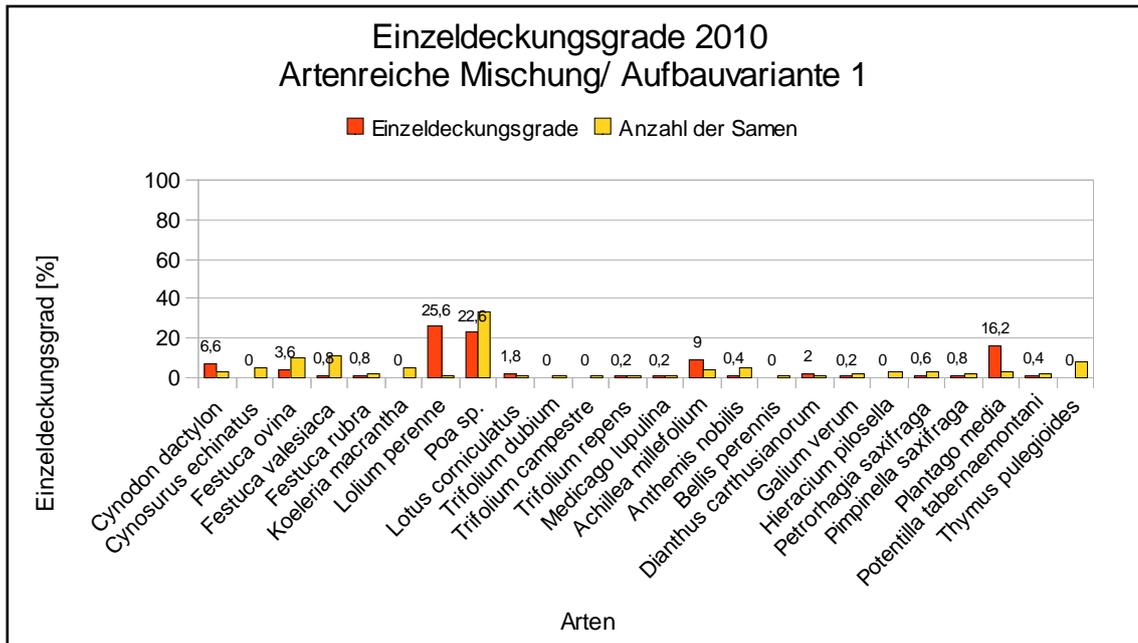


Abbildung 90: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Artenreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

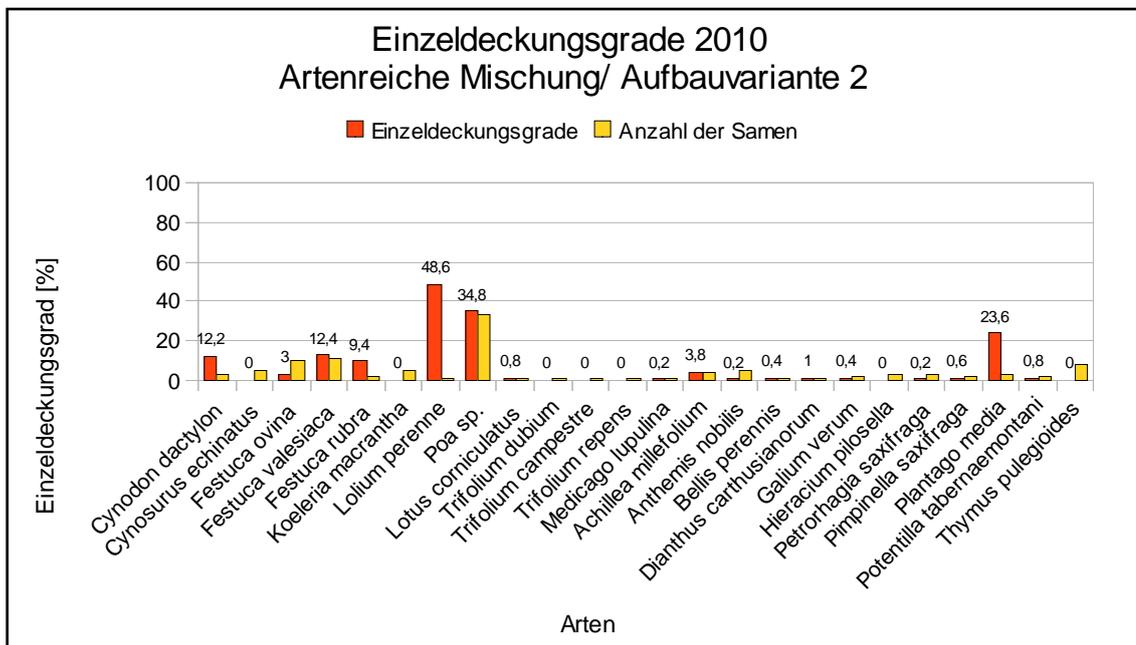


Abbildung 91: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Artenreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

In den Abbildungen 92 und 93 sind die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade bei der Trockenresistenz optimierten Mischung auf beiden Aufbauvarianten dargestellt. In dieser Saatgutmischung sind *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens*, *Bellis perennis* und *Pimpinella saxifraga* nicht enthalten. Bei den Gräsern erreichten *Cynodon dactylon*, *Lolium perenne* und *Poa sp.* hohe Deckungsgrade, wobei die Werte auf der Aufbauvariante 2 deutlich niedriger waren. Auf der Aufbauvariante 1 erzielte *Cynodon dactylon* 16,8 %, *Lolium perenne* 48,8 % und *Poa sp.* 13,2 % Deckungsgrad. Auf der Aufbauvariante 2 konnten *Cynodon dactylon* nur 2,8 %, *Lolium perenne* 43,6 % und *Poa sp.* 9 % Deckungsgrad erlangen.

Die Leguminosen sind fast vollständig ausgefallen bis auf *Medicago lupulina* mit 0,4 % in der Aufbauvariante 2.

Die Kräuter erzielten sehr geringe Deckungsgrade mit Ausnahme von *Achillea millefolium* mit 11,8 % in der Aufbauvariante 1 und 5 % in der Aufbauvariante 2. Auch *Plantago media* erreichte hohe Werte mit 17,4 % in der Aufbauvariante 1 und 11 % in der Aufbauvariante 2. Die Arten *Bellis perennis*, *Hieracium pilosella* und *Thymus pulegioides* sind in beiden Aufbauvarianten ausgefallen.

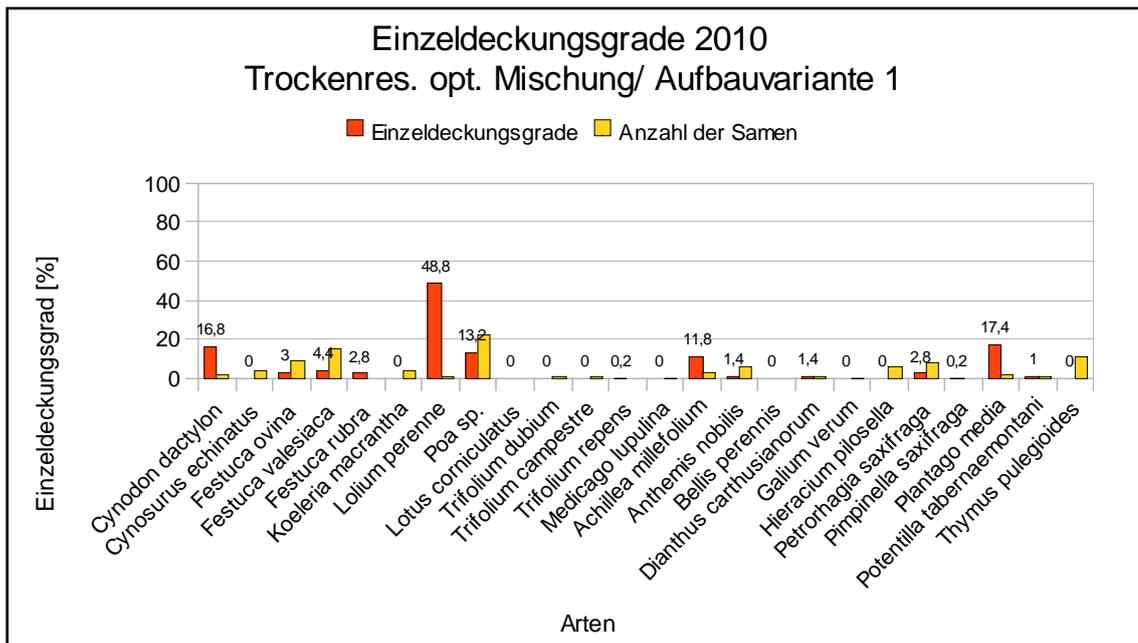


Abbildung 92: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

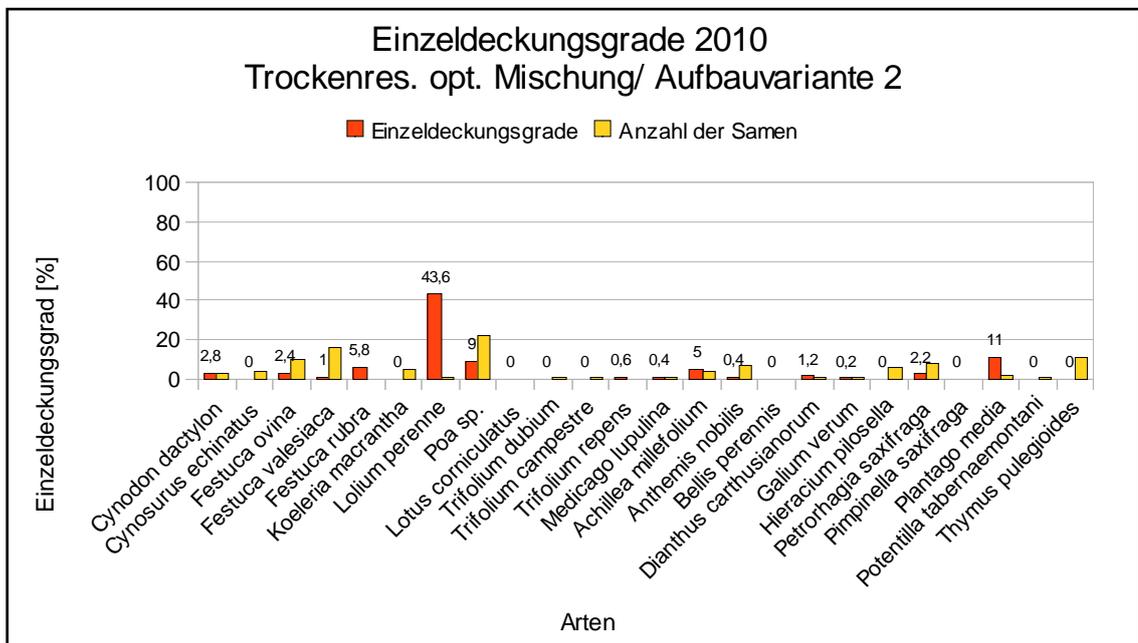


Abbildung 93: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

In den Abbildungen 94 und 95 sind die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade bei der Gräserreichen Mischung dargestellt. In dieser Saatgutmischung sind die Arten *Lotus corniculatus* und *Bellis perennis* nicht enthalten. Ähnlich wie bei der Begrünung mit der Trockenresistenz optimierten Mischung konnten auf der Aufbauvariante 1 bessere Deckungsgrade als auf der Aufbauvariante 2 festgestellt werden. In der Aufbauvariante 1 erzielte *Cynodon dactylon* 11,8 %, *Festuca rubra* 12,8 %, *Lolium perenne* 44,2 % und *Poa sp.* 18,2 % Deckungsgrad. Die restlichen Gräser sind ausgefallen oder erreichten nur geringe Deckungsgrade. In der Aufbauvariante 2 konnten lediglich *Lolium perenne* mit 29,6 % und *Poa sp.* mit 8,2 % nennenswerte Deckungsgrade erlangen.

Die Leguminosen sind in beiden Aufbauvarianten fast gänzlich ausgefallen. Bei den Kräutern sind nur die Deckungswerte von *Achillea millefolium* mit 5,6 % und *Plantago media* mit 16,8 % in der Aufbauvariante 1 zu erwähnen. In der Aufbauvariante 2 erreichte nur *Plantago media* mit 9,8 % einen nennenswerten Deckungswert.

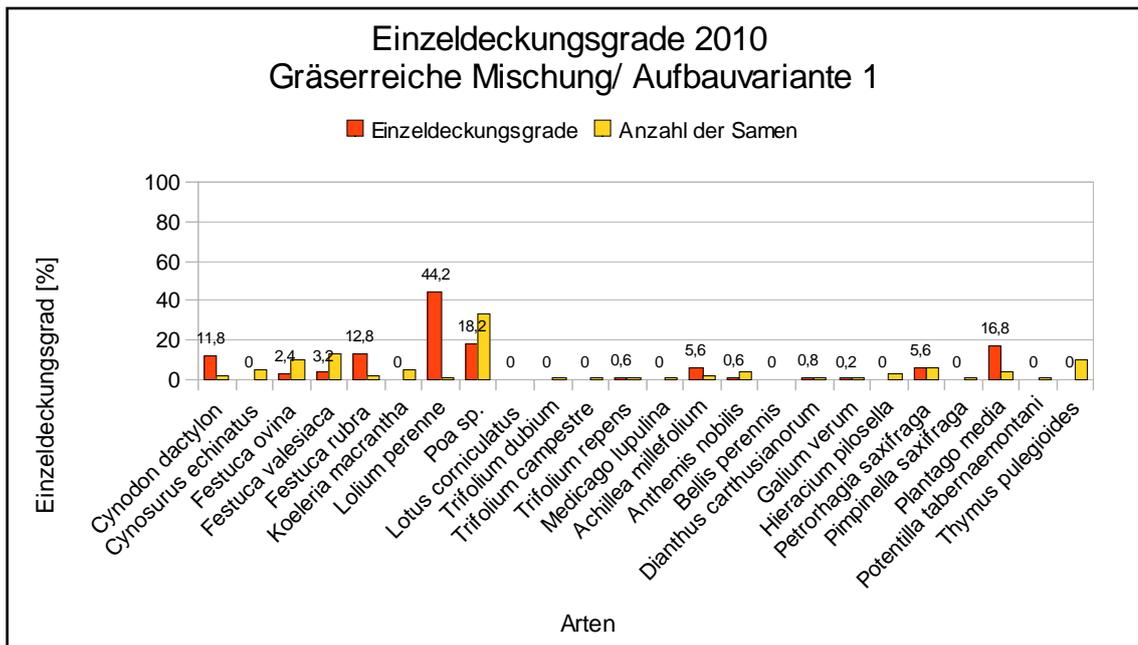


Abbildung 94: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Gräserreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

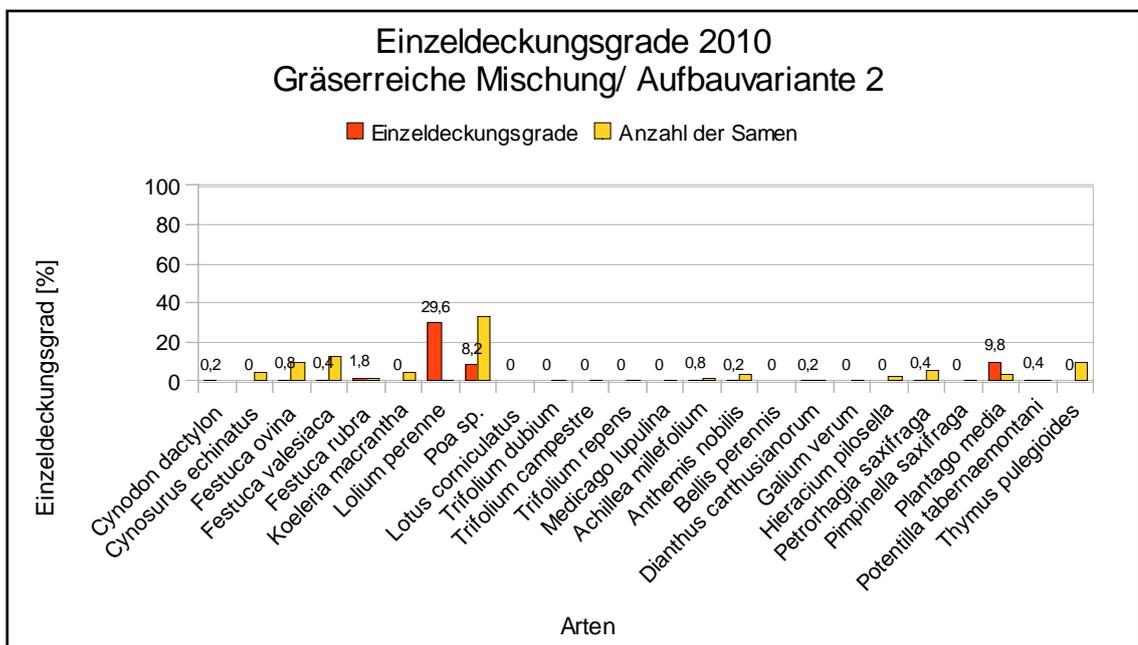


Abbildung 95: Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Gräserreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2 der Versuchsfelder zur Gleisbegrünung. Die Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade sind der Anzahl der Samen in der Saatgutmischung gegenübergestellt. Die Prozentangaben über den Balken beziehen sich auf die Einzeldeckungsgrade. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei den Gräsern *Cynodon dactylon*, *Lolium perenne* und *Poa sp.* die höchsten Deckungsgrade erzielten. Bei den Kräutern konnten nur von *Achillea millefolium* und *Plantago media* hohe Deckungsgrade erreicht werden. Die Deckungsgrade der Leguminosen waren allgemein sehr schlecht. Die Arten *Cynosurus echinatus*, *Koeleria macrantha*, *Trifolium dubium*, *Trifolium campestre*, *Hieracium pilosella* und *Thymus pulegioides* sind ausgefallen. Aufgrund der allgemein sehr geringen Deckungsgrade ist der Unterschied zwischen den beiden Aufbauvarianten nicht sehr deutlich, die Einzeldeckungsgrade sind jedoch auf der Aufbauvariante 1 etwas höher als auf der Aufbauvariante 2 mit Ausnahme der artenreichen Mischung.

4.3.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ersten und zweiten Vegetationsaufnahme miteinander verglichen.

Die Einzeldeckungsgrade der artenreichen Saatgutmischung sind 2010 bei allen Arten bis auf drei stark zurückgegangen, wie in den Abbildungen 96 und 97 zu sehen ist. Auffallend ist der Rückgang vor allem bei *Cynodon dactylon*, was darauf zurückzuführen ist, dass diese Art sehr wärmeliebend ist und im Mai 2010 noch nicht die entsprechenden Temperaturen erreicht wurden. Auch die Deckungsgrade von *Anthemis nobilis*, *Bellis perennis*, *Dianthus carthusianorum* und *Petrorhagia saxifraga* waren bei der Vegetationsaufnahme 2010 um mehr als 80% geringer als im Vorjahr. Der Deckungsgrad von *Achillea millefolium* ist um zwei Drittel zurückgegangen. *Lolium perenne*, *Poa pratensis* und *Plantago media* erreichten 2010 höhere Deckungsgrade als 2009. Auf der Aufbauvariante 2 konnten sich die *Festuca*-Arten besser etablieren als auf der Aufbauvariante 1. Auch *Lolium perenne* und *Poa sp.* sind auf der Aufbauvariante 2 stärker vertreten, was aber auch mit dem höheren Gesamtdeckungsgrad zusammenhängt. Die Gräser konnten sich auf der Aufbauvariante 2 besser etablieren, die Kräuter erreichten in der Aufbauvariante 1 höhere Deckungsgrade.

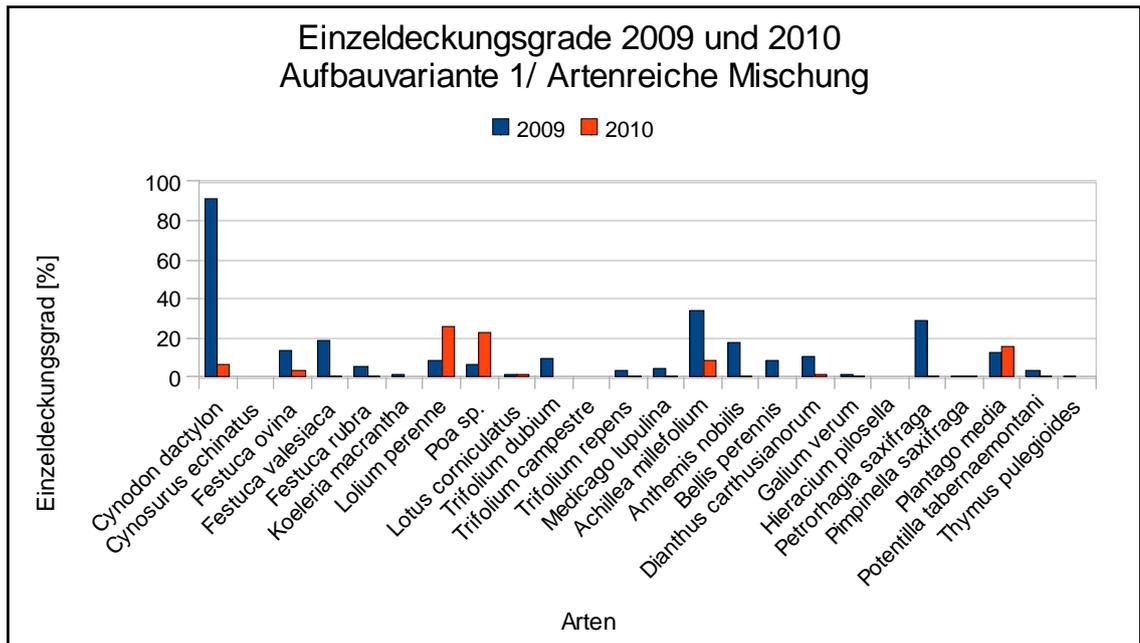


Abbildung 96: Entwicklung der Einzeldeckungsgrade im Laufe einer Vegetationsperiode bei der Artenreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1. Die Versuchsflächen zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzen Dorfstraße in Graz.

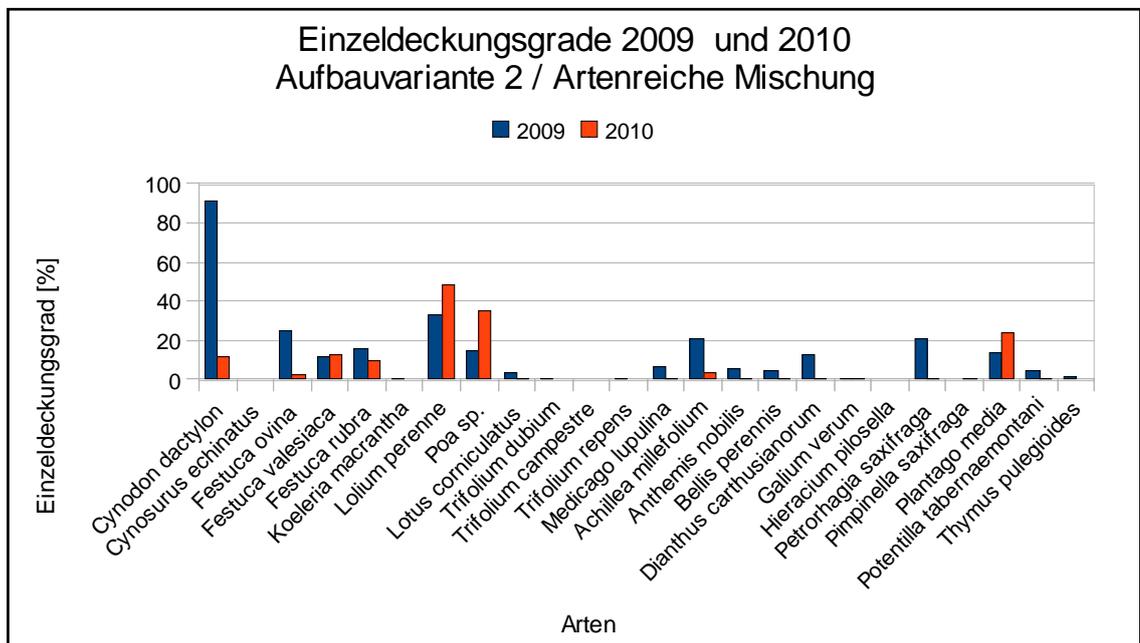


Abbildung 97: Entwicklung der Einzeldeckungsgrade im Laufe einer Vegetationsperiode bei der Artenreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2. Die Versuchsflächen zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzen Dorfstraße in Graz.

Die Abbildungen 98 und 99 zeigen die Entwicklung der Einzeldeckungsgrade der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung auf den beiden Aufbauvarianten. Bei der mit der Trockenresistenz optimierten Mischung begrünter Fläche sind die Einzeldeckungsgrade aller Arten bis auf *Lolium perenne*, *Poa sp.* und *Plantago media* bei der Vegetationsaufnahme 2010 zurückgegangen. *Lolium perenne* und *Poa sp.* konnten ihre Deckungsgrade auf der Aufbauvariante 1 sogar mehr als verdoppeln. Der Rückgang von *Cynodon dactylon* beträgt über 80 %. Die höheren Mischungsanteile der Kräuter *Anthemis nobilis*, *Dianthus carthusianorum*, *Hieracium pilosella*, *Petrorhagia saxifraga* und *Thymus pulegioides* im Vergleich zur artenreichen Mischung zeigten nur bei *Anthemis nobilis* und *Petrorhagia saxifraga* Auswirkungen auf die Einzeldeckungsgrade. Die Einzeldeckungsgrade der Gräser wie der Kräuter sind in dieser Begrünung auf der Aufbauvariante 1 höher als auf der Aufbauvariante 2.

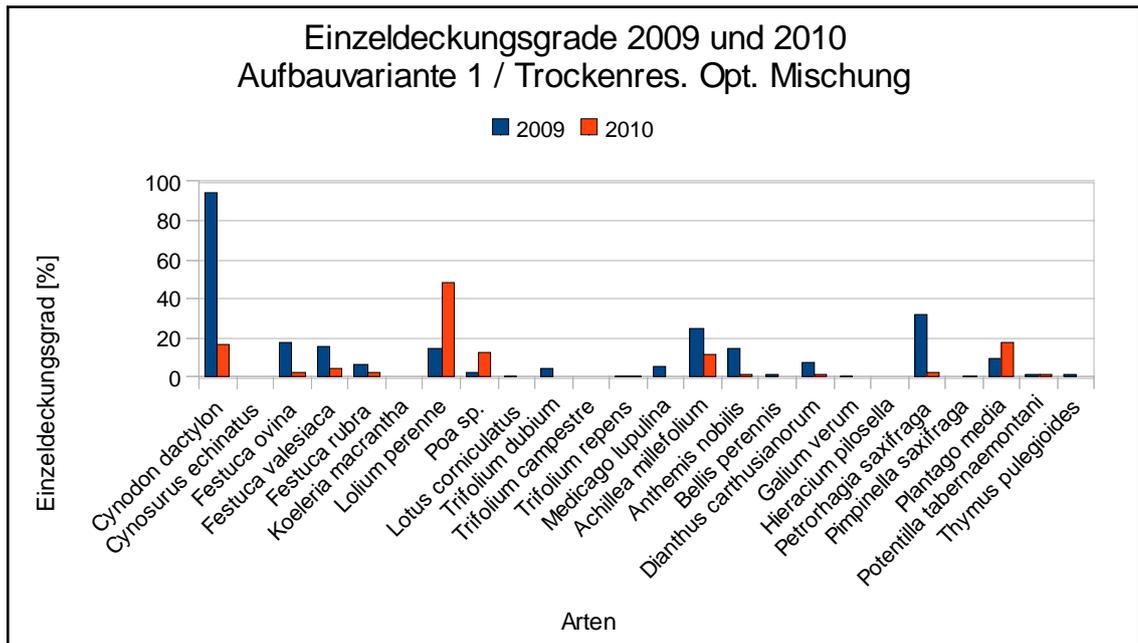


Abbildung 98: Entwicklung der Einzeldeckungsgrade im Laufe einer Vegetationsperiode bei der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

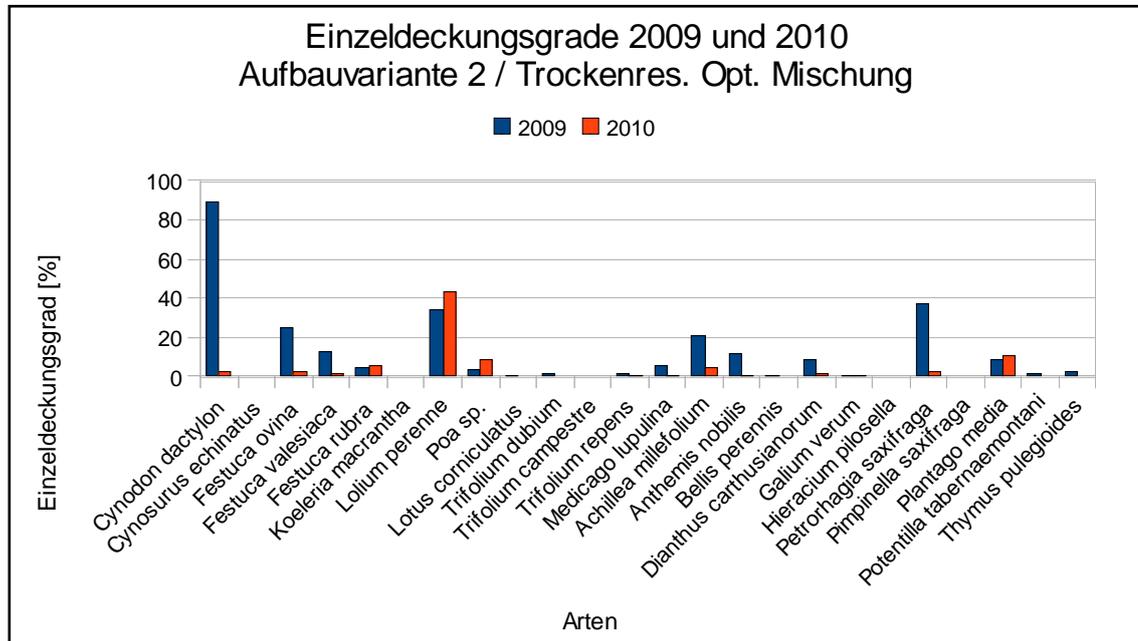


Abbildung 99: Entwicklung der Einzeldeckungsgrade im Laufe einer Vegetationsperiode bei der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2. Die Versuchsfelder zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

Die Abbildungen 100 und 101 zeigen die Entwicklung der Einzeldeckungsgrade bei der mit der Gräserreichen Saatgutmischung begrünter Fläche auf beiden Aufbauvarianten. Die Einzeldeckungsgrade der Gräserreichen Mischung sind 2010 ähnlich stark zurückgegangen wie bei den anderen Mischungen außer bei *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Poa sp.* und *Plantago media*. Die Aufbauvariante 2 wurde durch die Räumung mit dem Straßenschneepflug so stark beeinträchtigt, dass sich fast nur noch die Arten *Lolium perenne*, *Poa sp.* und *Plantago media* entwickeln konnten. Die geringeren Gewichtsanteile der Kräuter und Leguminosen in dieser Saatgutmischung konnten durch die Gräser nicht ausgeglichen werden, was sich auch im Vergleich mit den Gesamtdeckungsgraden bestätigt. Auch bei dieser Begrünung konnten sich auf der Aufbauvariante 1 Gräser sowie Kräuter besser entwickeln.

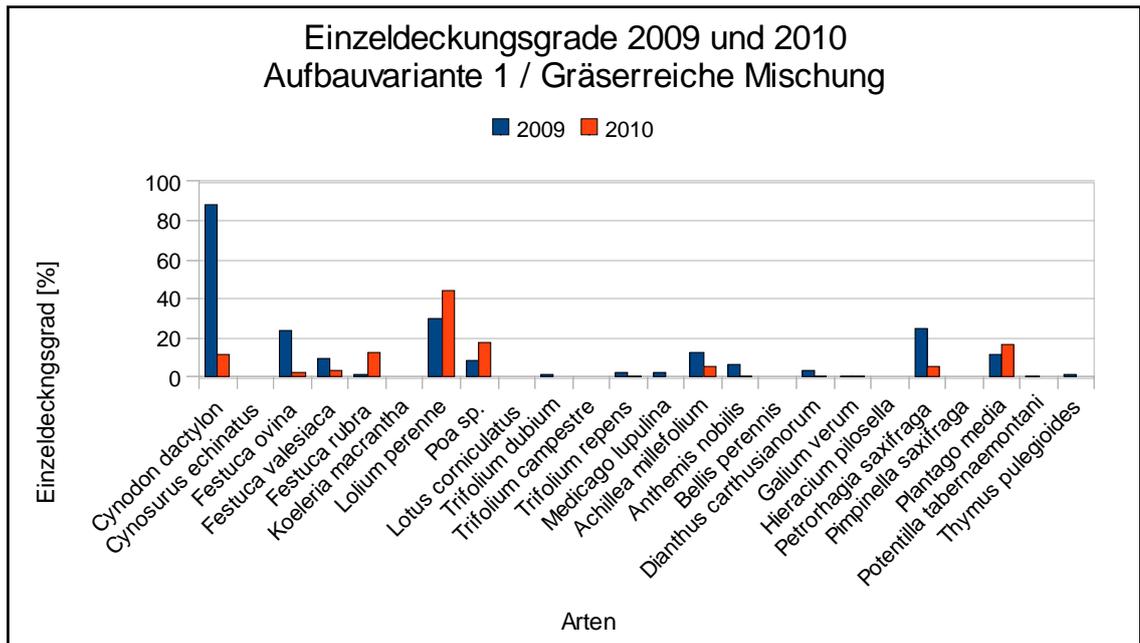


Abbildung 100: Entwicklung der Einzeldeckungsgrade im Laufe einer Vegetationsperiode bei der Gräserreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 1. Die Versuchsflächen zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

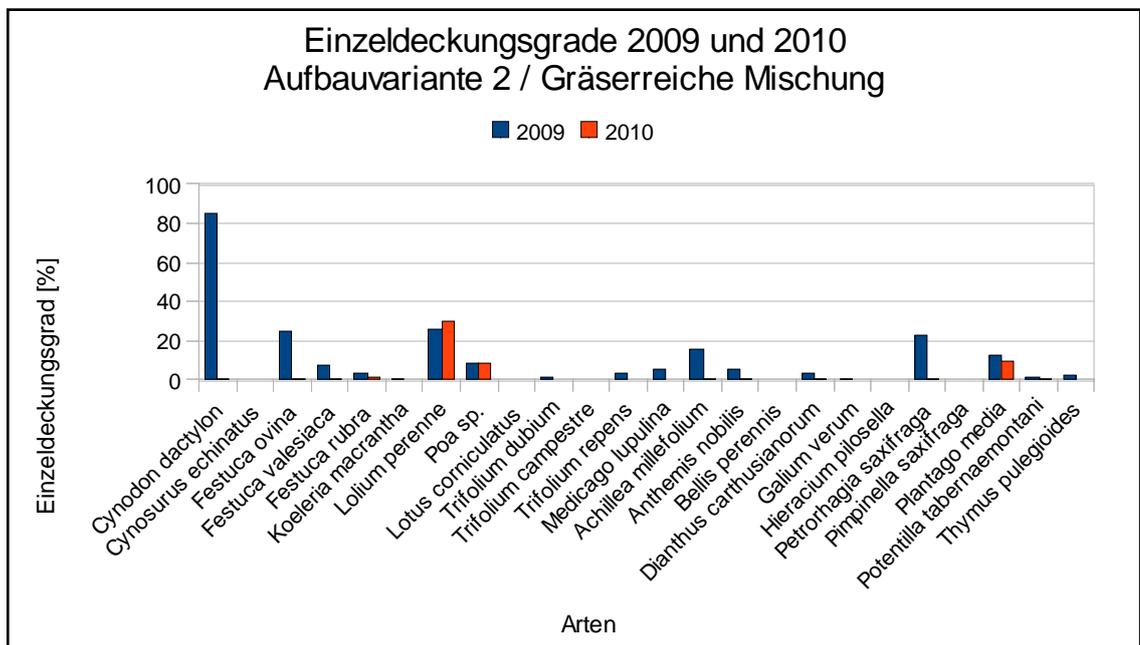


Abbildung 101: Entwicklung der Einzeldeckungsgrade im Laufe einer Vegetationsperiode bei der Gräserreichen Saatgutmischung auf der Aufbauvariante 2. Die Versuchsflächen zur Gleisbegrünung befinden sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

Die Ergebnisse der Erhebung der Einzeldeckungsgrade zeigen, dass es zwischen den Saatgutmischungen Unterschiede bei den Einzeldeckungsgraden gibt, die aufgrund der verschiedenen Mischungsverhältnisse zustande kommen. Das zeigt sich bei den Arten *Poa sp.*, *Trifolium repens*, *Achillea millefolium*, *Anthemis nobilis* und *Petrorhagia saxifraga*. Bei den anderen Arten spiegeln sich die Mischungsverhältnisse nicht so deutlich in den Ergebnissen wider.

Aus den Ergebnissen der Vegetationsaufnahme im Oktober 2009 zeigt sich, dass folgende Arten für den Standort gut geeignet sind: *Cynodon dactylon*, *Festuca ovina*, *Festuca valesiaca*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Poa compressa*, *Poa pratensis*, *Medicago lupulina*, *Achillea millefolium*, *Anthemis nobilis*, *Bellis perennis*, *Dianthus carthusianorum*, *Petrorhagia saxifraga* und *Plantago media*. Die geringen Deckungsgrade und die Zerstörung von Teilen der Versuchsfläche erschweren eine Interpretation der Ergebnisse der Vegetationsaufnahmen im Mai 2010. Jedenfalls konnte bei den Arten *Lolium perenne*, *Poa sp.* und *Plantago media* eine Erhöhung der Deckungsgrade festgestellt werden, während bei den andern Arten generell ein Rückgang der Deckungsgrade zu erkennen ist. Außerdem zeigte sich ein Unterschied zwischen den beiden Aufbauvarianten. Auf der Aufbauvariante 1 wurden etwas höhere Deckungsgrade erreicht als auf der Aufbauvariante 2.

4.4. Erhebung des Gräser-Kräuter Verhältnisses

Das Gräser-Kräuter Verhältnis wurde aus den Daten ermittelt, die durch die Point-Line Methode erhoben worden sind. Dabei wird das Gräser-Kräuter Verhältnis über die Treffer einer Art erhoben und nicht, wie bei einer visuellen Schätzung, über den projizierten Flächenanteil der Gräser oder Kräuter an der Gesamtfläche. Bei der Point-Line Methode zählt das feine Blatt von *Petrorhagia saxifraga* gleich viel wie das breite Blatt von *Plantago media*.

Durch die Erhebung des Gräser-Kräuter Verhältnisses sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie groß ist das Gräser-Kräuter Verhältnis der einzelnen Saatgutmischungen?
- Wie unterscheiden sich die beiden Aufbauvarianten voneinander?
- Wie hat sich das Gräser-Kräuter Verhältnis zwischen der ersten und der zweiten Vegetationsaufnahme verändert?

In der Abbildung 102 ist das Gräser-Kräuter Verhältnis der Saatgutmischungen nach Gewichtsanteilen dargestellt, wobei die Leguminosen zu den Kräutern gezählt werden. Die Artenreiche Mischung und die Trockenresistenz optimierte Mischung haben beide ein Gräser-Kräuter Verhältnis von 75:25 und die Gräserreiche Mischung hat ein leicht zugunsten der Gräser verschobenes Gräser-Kräuter Verhältnis von 80:20.

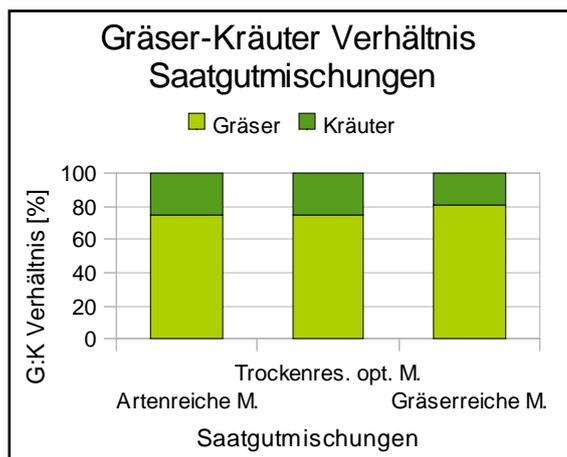


Abbildung 102: Gräser-Kräuter Verhältnis der Saatgutmischungen. In der Grafik ist das Verhältnis nach den Gewichtsanteilen der einzelnen Arten in den Saatgutmischungen dargestellt, die bei der Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße getestet wurden.

4.4.1. Ergebnisse des Gräser-Kräuter Verhältnisses im Oktober 2009

In den Abbildungen 103 und 104 sind die Gräser-Kräuter Verhältnisse der ersten Vegetationsaufnahme auf beiden Aufbauvarianten dargestellt. Die Artenreiche Mischung erzielte auf der Aufbauvariante 2 einen höheren Gräseranteil mit einem Gräser-Kräuter Verhältnis von 66:34 gegenüber einem Verhältnis von 53:47 auf der Aufbauvariante 1. Auch bei der Trockenresistenz optimierten Mischung konnte auf der Aufbauvariante 2 ein höherer Gräseranteil mit einem Gräser-Kräuter Verhältnis von 63:37 festgestellt werden. Auf der Aufbauvariante 1 liegt das Gräser-Kräuter Verhältnis bei 59:41. Bei der Gräserreichen Mischung ist der Gräseranteil auf der Aufbauvariante 1 leicht höher als auf der Aufbauvariante 2. Das Gräser-Kräuter Verhältnis liegt auf der Aufbauvariante 1 bei 70:30 und auf der Aufbauvariante 2 bei 67:33.

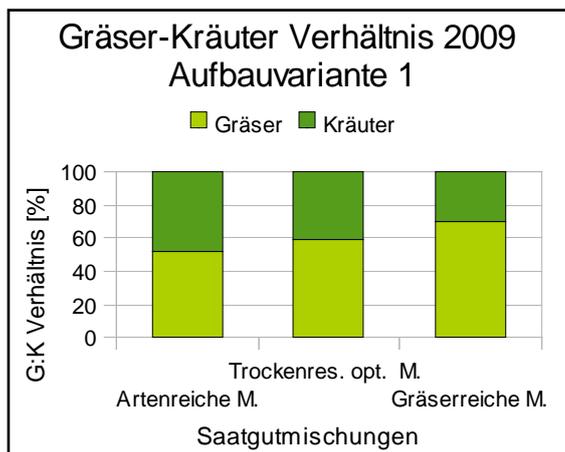


Abbildung 103: Ergebnisse der Gräser-Kräuter Verhältnisse 2009 auf der Aufbauvariante 1. In der Grafik sind die Gräser-Kräuter Verhältnisse der drei Saatgutmischungen dargestellt.

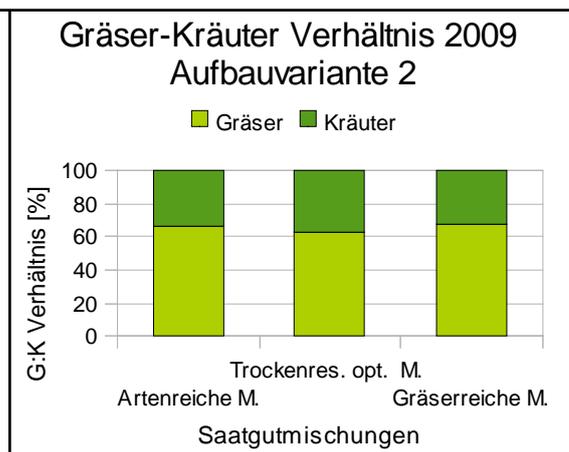


Abbildung 104: Ergebnisse der Gräser-Kräuter Verhältnisse 2009 auf der Aufbauvariante 2. In der Grafik sind die Gräser-Kräuter Verhältnisse der drei Saatgutmischungen dargestellt, die bei der Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße getestet wurden.

4.4.2. Ergebnisse des Gräser-Kräuter Verhältnisses im Mai 2010

In den Abbildungen 105 und 106 sind die Gräser-Kräuter Verhältnisse der zweiten Vegetationsaufnahme auf beiden Aufbauvarianten dargestellt. Bei der mit der Artenreichen Saatgutmischung begrünt Fläche wurde ein Gräser-Kräuter Verhältnis von 65:35 auf der Aufbauvariante 1 und 78:22 auf der Aufbauvariante 2 festgestellt. Bei der Trockenresistenz optimierten Mischung liegt das Gräser-Kräuter Verhältnis bei 71:29 auf der Aufbauvariante 1 und 75:25 auf der Aufbauvariante 2. Die Gräserreiche Mischung hat ein Gräser-Kräuter Verhältnis von 75:25 auf der Aufbauvariante 1 und 78:22 auf der Aufbauvariante 2.

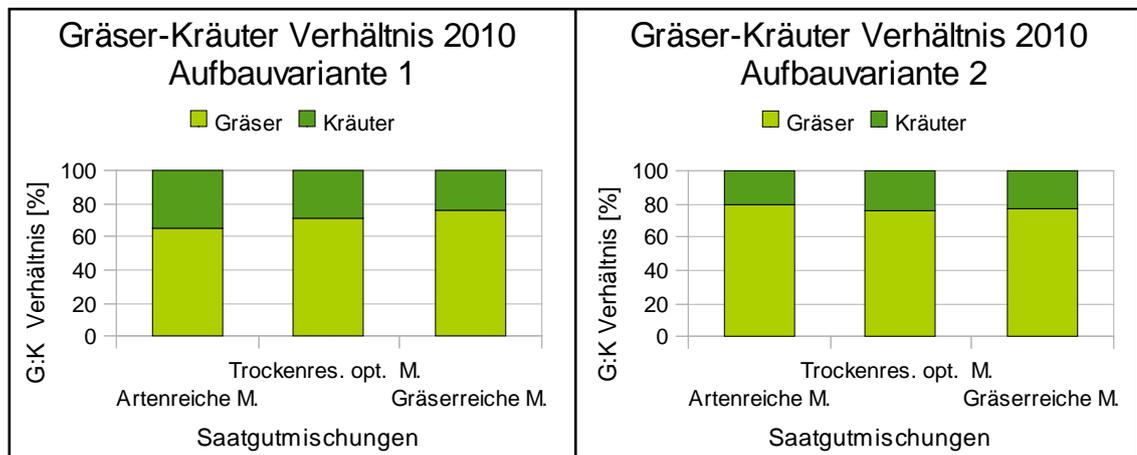


Abbildung 105: Ergebnisse der Gräser-Kräuter Verhältnisse 2010 auf der Aufbauvariante 1. In der Grafik sind die Gräser-Kräuter Verhältnisse der drei Saatgutmischungen dargestellt.

Abbildung 106: Ergebnisse der Gräser-Kräuter Verhältnisse 2010 auf der Aufbauvariante 2. In der Grafik sind die Gräser-Kräuter Verhältnisse der drei Saatgutmischungen dargestellt die bei der Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße getestet worden sind .

4.4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Aufgrund der intensiven Belastung durch die Befahrung haben sich die Gräser-Kräuter Verhältnisse im Laufe einer Vegetationsperiode generell leicht zugunsten der Gräser verschoben, die als trittresistenter gegenüber den Kräutern gelten (HASLGRÜBLER 2008). Dafür verantwortlich ist vor allem der Anstieg von *Lolium perenne* und *Poa sp.* Auch bei HAAS und SCHILD (2003) sind *Lolium perenne* und *Poa pratensis* als Arten beschrieben, die einer besser Befahrung standhalten können als andere Arten. Aus den Ergebnissen der Point-Line Methode zeigt sich ein Zusammenhang zwischen dem Rückgang des Gesamtdeckungsgrads und dem Anstieg des Gräseranteils auf den Versuchsflächen. Bei der mit der Gräserreichen Saatgutmischung begrüneten Fläche ist kein Unterschied zwischen den beiden Aufbauvarianten feststellbar. Bei den mit der Artenreichen und der Trockenresistenz optimierten Saatgutmischung begrüneten Versuchsflächen ist auf der Aufbauvariante 2 ein höherer Gräseranteil zu beobachten.

4.5. Zusammenfassung aller Vegetationsergebnisse

Bei den Vegetationsaufnahmen 2009 konnten viel höhere Gesamtdeckungsgrade festgestellt werden als 2010, was vor allem, wie aus den Ergebnissen der Einzeldeckungsgrade ersichtlich ist, an der Dominanz von *Cynodon dactylon* gelegen hat. Aber auch andere Arten, die 2009 gute Einzeldeckungsgrade erreichten, haben zum Rückgang der Gesamtdeckungsgrade beigetragen, wie *Festuca ovina*, *Festuca valesiaca*, *Achillea millefolium*, *Bellis perennis*, *Dianthus carthusianorum*, und *Petrorhagia saxifraga*. Der Ausfall der Arten *Cynosurus echinatus*, *Koeleria macrantha*, *Trifolium dubium*, *Trifolium campestre*, *Hieracium pilosella* und *Thymus pulegioides* lässt sich vermutlich mit der schlechten Keimfähigkeit des Saatguts erklären. Die Arten *Lolium perenne*, *Poa sp.* und *Plantago media* erreichten bis auf eine Ausnahme bei den Vegetationsaufnahmen im Mai 2010 höhere Deckungsgrade als im Jahr zuvor.

Die Ermittlung der Gräser-Kräuter Verhältnisse führt zu dem Ergebnis, dass die Aufbauvariante 1 für die Entwicklung der Kräuter besser geeignet ist als die Aufbauvariante 2. Auch im Hinblick auf die Gesamtdeckung ist die Aufbauvariante 1 der Aufbauvariante 2 mit einer Ausnahme überlegen.

Die Mindestdeckung von 50 % konnten bei den Vegetationsaufnahmen im Mai 2010 nur auf zwei Flächen festgestellt werden. Dabei handelt es sich um die Artenreiche Mischung auf der Aufbauvariante 2 und die Trockenresistenz optimierte Mischung auf der Aufbauvariante 1. Die Gräserreiche Mischung erreichte im Oktober 2009 und im Mai 2010 die geringsten Gesamtdeckungsgrade.

5. GEOTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN - METODIK UND ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die geotechnischen Untersuchungen, die an der Versuchsfläche durchgeführt wurden, beschrieben. Im Zuge der Errichtung der Versuchsanlage fanden Tragfähigkeits- und Wasserdurchlässigkeitsmessungen statt. Die Entwicklung dieser Werte wurde ein Jahr später überprüft und dient dazu, die beiden Aufbauvarianten bezüglich ihrer Eignung als Tragschichten besser beurteilen zu können.

5.1. Erhebung der Tragfähigkeit

Die Vegetationstragschicht muss einerseits befahrbar sein und gleichzeitig günstige Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum bieten. Um beiden Ansprüchen gerecht zu werden, sollte die Vegetationstragschicht so verdichtet werden, dass der Wert des Verformungsmoduls E_{v2} zwischen 25 und 65 MN/m² liegt. Diese Werte beziehen sich auf Ergebnisse des „Green Concrete“ Projektes und ist für die Belastung durch PKWs ausgelegt (SCHARF 2009). In der FLL-Richtlinie (2008) ist die empfohlene Tragfähigkeit mit einem Verformungsmodul E_{v2} von mindestens 45 MN/m² und maximal 60 MN/m² angegeben. Da die Versuchsstrecke in Graz für die Belastung durch Schwertransporte ausgelegt sein musste, wurde die Tragschicht stärker verdichtet (siehe Kapitel 5.1.2.). Die Versuchsanlage wurde in zwei Schichten eingebaut. Da mit Nachverdichtungen zu rechnen war und um das Anwachsen der Pflanzen zu begünstigen, ist die untere Schicht stärker verdichtet als die obere (SCHARF 2009).

5.1.1. Ermittlung der Tragfähigkeit mittels dynamischem Lastplatten-Druckversuch

Die Tragfähigkeit der Versuchsanlage wurde mit einer dynamischen Lastplatte des Herstellers ZORN gemessen (siehe Abbildung 107). Dabei ist es wichtig, die Lastplatte eben auf den vegetationsfreien Untergrund aufzusetzen. Jede Messung wurde in zwei Durchgängen ausgeführt, wobei die zweite Messung die gültigen Ergebnisse bringt. Die dynamische Lastplatte liefert einen Wert für das dynamische Verformungsmodul E_{vd} , der mithilfe eines Koeffizienten auf den Wert des Verformungsmoduls E_{v2} umgerechnet wird.

Die Tragfähigkeit wurde direkt nach dem Einbau im Mai 2009 und im Anschluss an die zweite Vegetationsaufnahme im Mai 2010 gemessen. Bei der ersten Messung wurde sowohl die untere Lage (12 cm) als auch die obere Lage (4 cm) der Vegetationstragschicht überprüft. Bei der unteren Lage fanden pro Versuchsfläche drei Messungen statt, aus denen eine mittlere Tragfähigkeit pro Versuchsfläche gebildet wurde, die wiederum einen Durchschnitt für die Aufbauvarianten lieferten. Bei der oberen Lage wurde pro Versuchsfläche eine Messung durchgeführt und daraus ein Durchschnitt für die Aufbauvarianten gebildet. Die zweite Messung im Mai 2010 fand nur auf der oberen Lage statt. Wie im Jahr zuvor, wurde aus einer Messung pro Versuchsfläche ein Durchschnitt für die Aufbauvariante gebildet.



Abbildung 107: Messung der Tragfähigkeit der Versuchsstrecke zur Gleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. Nach dem Einbau der Versuchsstrecke im Mai 2009 wurde die Tragfähigkeit der Vegetationstragschicht mit einer dynamischen Lastplatte ermittelt (SCHARF Mai 2009).

5.1.2. Ergebnisse der Tragfähigkeitsmessungen

Die Abbildungen 108 und 109 zeigen die Ergebnisse der Tragfähigkeitsmessungen nach dem Einbau im Mai 2009. Auf der unteren Lage wurde eine mittlere Tragfähigkeit E_{vd} von 24,82 MN/m² auf der Aufbauvariante 1 und 26,33 MN/m² auf der Aufbauvariante 2 gemessen. Das ergibt durch die Berechnung mit dem Umrechnungskoeffizienten von 2 bis 3 eine Tragfähigkeit E_{v2} die auf der Aufbauvariante 1 im Bereich von 49,64 MN/m² bis 74,47 MN/m² liegt. Auf der Aufbauvariante 2 liegt die berechnete Tragfähigkeit E_{v2} im Bereich von 52,67 MN/m² bis 79 MN/m². Im Mittel lag die Tragfähigkeit E_{v2} auf der Aufbauvariante 1 bei 62,06 MN/m² und 65,83 MN/m² auf der Aufbauvariante 2

Tragfähigkeit untere Lage - Gleiskörper Versuchsstrecke GRAZ 2009									
Aufbauvariante	Versuchsfläche	Messung	Tragfähigkeit E_{vd}		Mittlere Tragfähigkeit E_{vd} pro Versuchsfläche	Mittlere Tragfähigkeit E_{vd} pro Aufbauvariante	Tragfähigkeit E_{v2}		
			Wert 1	Wert 2			Umrechnungskoeffizient		
							2	2,5	3
1	1	1	17,2	20,3	26,37	24,82	49,64	62,06	74,47
		2	17,9	27,4					
		3	27	31,4					
	2	1	15,7	19	22,47				
		2	20,5	26,5					
		3	17,7	21,9					
	3	1	18,6	23,1	25,63				
		2	21,3	27,2					
		3	20,6	26,6					
2	1	1	13,9	21,2	31,17	26,33	52,67	65,83	79,00
		2	26,9	37,3					
		3	26,9	35					
	2	1	19,2	24	25,10				
		2	23,3	30,4					
		3	16,1	20,9					
	3	1	16,5	18,5	22,73				
		2	17,3	21,3					
		3	21,6	28,4					
angestrebter Bereich E_{v2} von 25 bis 65 MN/m ²									

Abbildung 108: Ergebnisse des dynamischen Druckversuchs der unteren Lage (12 cm) der Vegetationstragschicht im Mai 2009 auf der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz (SCHARF 2009).

Tragfähigkeit obere Lage - Gleiskörper Versuchsstrecke GRAZ 2009							
Aufbauvariante	Versuchsfläche	Tragfähigkeit E_{vd}		Mittlere Tragfähigkeit E_{vd} pro Aufbauvariante	Tragfähigkeit E_{v2}		
		Wert 1	Wert 2		Umrechnungskoeffizient		
					2	2,5	3
1	1	14,9	17,2	18,07	36,13	45,17	54,20
	2	17,3	19,8				
	3	14,9	17,2				
2	1	13,9	17,8	16,73	33,47	41,83	50,20
	2	13,4	16				
	3	13,6	16,4				
angestrebter Bereich E_{v2} von 25 bis 65 MN/m ²							

Abbildung 109: Ergebnisse des dynamischen Druckversuchs der oberen Lage (4cm) der Vegetationstragschicht im Mai 2009 auf der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz (SCHARF 2009).

Die obere Lage wurde weniger stark verdichtet. Die Aufbauvariante 1 erreichte eine mittlere Tragfähigkeit E_{vd} von 18,07 MN/m² und die Aufbauvariante 2 16,73 MN/m². Das ergibt durch die Berechnung mit dem Umrechnungskoeffizienten von 2 bis 3 eine Tragfähigkeit E_{v2} im Bereich von 36,13 MN/m² bis 54,20 MN/m² auf der Aufbauvariante 1. Auf der Aufbauvariante 2 liegt die Tragfähigkeit E_{v2} im Bereich von 33,47 MN/m² bis 50,20 MN/m². Im Mittel lag die Tragfähigkeit E_{v2} auf der Aufbauvariante 1 bei 45,17 MN/m² und 41,83 MN/m² auf der Aufbauvariante 2.

Die Werte lagen beim Einbau somit im angestrebten Bereich, wobei die Aufbauvariante 1 etwas stärker verdichtet war als die Aufbauvariante 2.

In der Abbildung 110 sind die Ergebnisse der Tragfähigkeitsmessungen nach einem Jahr Belastung im Mai 2010 dargestellt. Die mittlere Tragfähigkeit E_{vd} lag bei 33,5 MN/m² auf der Aufbauvariante 1 und 32,7 MN/m² auf der Aufbauvariante 2. Durch die Berechnung mit dem Umrechnungskoeffizienten von 2 bis 3 ergibt sich eine Tragfähigkeit E_{v2} im Bereich von 67 MN/m² bis 100,5 MN/m² auf der Aufbauvariante 1 und 65,4 MN/m² bis 98,1 MN/m² auf der Aufbauvariante 2. Im Mittel lagen die Werte für die Tragfähigkeit E_{v2} bei 82,5 MN/m² auf der Aufbauvariante 1 und 81,75 MN/m² auf der Aufbauvariante 2. Das übertrifft den Maximalwert von 65 MN/m² deutlich (FLL 2008). Zwischen den beiden Aufbauvarianten ist jedoch kein wesentlicher Unterschied feststellbar.

Tragfähigkeit obere Lage Gleiskörper Versuchsstrecke GRAZ 2010							
Aufbauvariante	Versuchsfläche	Tragfähigkeit E_{vd}		Mittlere Tragfähigkeit E_{vd} pro Aufbauvariante	Tragfähigkeit E_{v2}		
		Wert 1	Wert 2		Umrechnungskoeffizient		
					2	2,5	3
1	1	23,3	35,8	33,5	67	82,5	100,5
	2	24,1	33				
	3	23	31,7				
2	1	25,5	33,3	32,7	65,4	81,75	98,1
	2	27,7	38				
	3	22	26,8				

angestrebter Bereich E_{v2} von 25 bis 65 MN/m²

Abbildung 110: Ergebnisse des dynamischen Druckversuchs der oberen Lage der Vegetationstragschicht bei der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz im Mai 2010.

5.2. Erhebung der Wasserdurchlässigkeit

Um den raschen Abtransport von Oberflächenwasser und gleichzeitig die Wasserversorgung der Pflanzen zu gewährleisten, wird von der FLL-Richtlinie (2008) eine Wasserdurchlässigkeit von mindestens $5,0 \times 10^{-6}$ m/s und maximal $5,0 \times 10^{-5}$ m/s empfohlen.

5.2.1. Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit mittels Ausschüttversuch

Die Wasserdurchlässigkeit wurde mittels Ausschüttversuch gemäß FSV (1997) RVS 11.062 Grundlagen; Prüfverfahren; Steinmaterial durchgeführt. Dieser dient zur „überschlägigen Bestimmung der Durchlässigkeit ungebundener Tragschichten“.

Für den Ausschüttversuch wird eine Prallplatte mit einem Durchmesser von 15 cm eben auf den Untergrund aufgelegt und darauf zwei Liter Wasser aus einer Höhe von 10 cm innerhalb von 5 Sekunden ausgeschüttet (siehe Abbildung 111). Dies wird pro Messpunkt dreimal hintereinander durchgeführt, wobei beim dritten Mal die Versickerungszeit gemessen wird. Die Wasserdurchlässigkeit wurde direkt nach dem Einbau der Versuchsanlage im Mai 2009 und ein zweites Mal im Mai 2010 erhoben. Auf jeder Versuchsfläche wurde ein Ausschüttversuch durchgeführt und daraus ein Durchschnitt für die Aufbauvariante gebildet. Bei besonders schlechten Versickerungsraten wurde die Messung aus Zeitgründen nach 10 Minuten abgebrochen. Die FSV (1997) schreibt bei Versickerungszeiten von mehr als 30 Sekunden die zusätzliche Durchführung einer Prüfung mittels Ausflussmessgerät vor. Dies konnte aufgrund der Straßenbahn, die im zehn-Minuten Takt die Flächen überfährt, nicht stattfinden.



Abbildung 111: Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit mittels Ausschüttversuch im Mai 2010. Dabei wird eine definierte Menge Wasser über eine Prallplatte, die am Boden aufgelegt wird, ausgeschüttet und die Versickerungszeit gemessen (SCHARF Mai 2010). Die Versuchsstrecke zur Gleisbegrünung befindet sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

5.2.2. Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsmessungen

In der Abbildung 112 sind die Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsmessungen im Mai 2009 dargestellt. Der angestrebte Bereich konnte auf keiner der beiden Aufbauvarianten erreicht werden. Die Werte $4,31 \times 10^{-7}$ m/s auf der Aufbauvariante 1 und $7,45 \times 10^{-8}$ m/s auf der Aufbauvariante 2 liegen deutlich unter dem Mindestwert von $5,0 \times 10^{-6}$ m/s (FLL 2008). Bei den Messungen im Mai 2010 wurde eine Verschlechterung der Wasserdurchlässigkeit festgestellt, wie in Abbildung 113 ersichtlich ist. Die Werte liegen bei $3,64 \times 10^{-8}$ m/s auf der Aufbauvariante 1 und $3,28 \times 10^{-8}$ m/s auf der Aufbauvariante 2.

Die schlechten Versickerungswerte auf beiden Aufbauvarianten dürften auf den hohen Sandanteil in den Baustoff-Recyclingmaterialien zurückzuführen sein. Durch den geringen Anteil des Grobkieskorns muss die Vegetationstragschicht zudem stärker verdichtet werden um die gewünschte Tragfähigkeit zu erreichen, wodurch die Wasserdurchlässigkeit zusätzlich verschlechtert wird.

Wasserdurchlässigkeit - Gleiskörper Versuchsstrecke GRAZ 2009				
Aufbau-variante	Versuchsfläche	Versickerungsdauer [sec]	k_f - Wert berechnet [m/s]	durchschnittlicher k_f - Wert
1	1	156,5	3,23E-07	4,31E-07
	2	124,8	5,24E-07	
	3	134,8	4,45E-07	
2	1	402	4,33E-08	7,45E-08
	2	270,12	1,01E-07	
	3	302,98	7,92E-08	
angestrebter Bereich k_f -Wert zwischen 5×10^{-6} bis 5×10^{-5}				

Abbildung 112: Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsmessungen im Mai 2009 (SCHARF 2009). Die Versuchsstrecke befindet sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

Wasserdurchlässigkeit - Gleiskörper Versuchsstrecke GRAZ 2010				
Aufbau-variante	Versuchsfläche	Versickerungsdauer [sec]	k_f - Wert berechnet [m/s]	durchschnittlicher k_f - Wert
1	1	321,6	6,97E-08	3,64E-08
	2	564,6	2,10E-08	
	3	600	1,85E-08	
2	1	395,5	4,49E-08	3,28E-08
	2	444	3,51E-08	
	3	600	1,85E-08	
angestrebter Bereich k_f -Wert zwischen 5×10^{-6} bis 5×10^{-5}				

Abbildung 113: Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsmessungen im Mai 2010. Die Versuchsstrecke befindet sich in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

6. DISKUSSION UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Wie schon in der Diplomarbeit von HASLGRÜBLER (2008) hat sich auch in dieser Arbeit die Point-Line Methode, zur Erhebung der Einzeldeckungsgrade und des Gräser-Kräuter Verhältnis, bewährt. Die Methode liefert eindeutige Ergebnisse, die auch reproduzierbar sind. Etwas schwierig gestaltet sich lediglich die Ermittlung der richtigen Anzahl an Aufnahmepunkten. Hier ist ein Kompromiss zu finden zwischen der Repräsentativität des Stichprobenumfangs und dem zur Erhebung der Daten benötigten Aufwand. 500 Punkte auf einer Versuchsfläche von knapp 30 m² erwiesen sich als ausreichend. Anzudenken wäre noch eine Variation von 600 Punkten pro Versuchsfläche mit drei Transekten zu je 200 Punkten. Die Schwierigkeiten bei der Vegetationsaufnahme aufgrund der Befahrung der Straßenbahn hielten sich in Grenzen. Das für diese Zwecke entwickelte und gebaute Aufnahmegerät hat sich in der Praxis sehr gut bewährt und die Vegetationsaufnahmen konnten zügig abgewickelt werden.

Aufgrund der teilweisen Zerstörung der Versuchsflächen durch den Winterdienst sind eindeutige Aussagen über die Eignung einer bestimmten Aufbauvariante bzw. Saatgutmischung schwierig. Die Gräserreiche Saatgutmischung erreichte im Vergleich zu den anderen Saatgutmischungen die schlechtesten Ergebnisse und eignet sich nicht zur Begrünung von Schotterrasen auf Straßenbahngleisen. Da man davon ausgehen muss, dass die Begrünung mit der Artenreiche Saatgutmischung ohne die Zerstörung durch den Straßenpflug bessere Deckungswerte erreicht hätte, wird diese Mischung als Basis für eine optimierte Saatgutmischung herangezogen. Dafür sprechen die hohen Deckungswerte beider Aufbauvarianten bei den Vegetationsaufnahmen im Oktober 2009 und der im Vergleich höchste Deckungswert auf der Aufbauvariante 2 bei den Vegetationsaufnahmen im Mai 2010.

Die Optimierung der Saatgutmischung wird mithilfe der Interpretation der Einzeldeckungsgrade vorgenommen. Die Arten *Cynosurus echinatus*, *Koeleria macrantha*, *Trifolium campestre*, *Galium verum*, *Hieracium pilosella*, *Pimpinella saxifraga* und *Thymus pulegioides* werden aus der Saatgutmischung entfernt. Sie konnten sich auf den Versuchsflächen nicht etablieren.

Bei den Gräsern wird der Anteil von *Festuca ovina duriuscula*, *Festuca ovina s. str.* und *Festuca rubra commutata* erhöht, um die Artenvielfalt in der Mischung zu gewährleisten. *Festuca valesiaca* bleibt anteilmäßig gleich, da das Saatgut sehr teuer ist. *Cynodon dactylon*, *Lolium perenne* und *Poa sp.* sind sehr konkurrenzfähige Arten und, wie die Ergebnisse gezeigt haben, ausreichend in der Mischung vorhanden.

Die Anteile von *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens* und *Medicago lupulina* werden erhöht, weil diese Arten bei den Vegetationsaufnahmen 2009 gute Deckungsgrade erreichten und auch bei der Vegetationsaufnahme 2010 wieder auf der Versuchsfläche gefunden wurden. *Trifolium dubium* fiel bei den Vegetationsaufnahmen 2010 aus, wird jedoch aufgrund guter Ergebnisse im Oktober 2009 in der Mischung beibehalten.

Bei den Kräutern wird der Anteil von *Achillea millefolium* erhöht, da eine Erhöhung des Mischungsanteils auch zu einem erhöhten Deckungsgrad geführt hat, wie der Vergleich mit der Gräserreichen Mischung zeigt. Der Anteil von *Anthemis nobilis* wird angehoben, weil der höhere Anteil in der Trockenresistenz optimierten Mischung zu einem besseren Ergebnis bei den Vegetationsaufnahmen 2010 geführt hat. *Bellis perennis* ist anspruchsvoller in Bezug auf die Stickstoffversorgung des Bodens als angenommen, was vermutlich der Grund dafür ist, dass die Art zwar im ersten Jahr gut angewachsen ist, sich jedoch nicht etablieren konnte. Um eine Artenvielfalt zu erhalten, wird die Pflanze jedoch nicht aus der Mischung gestrichen. Außerdem wird sich die Erhöhung des Leguminosenanteils positiv auf die Stickstoffversorgung auswirken. Auch bei *Dianthus carthusianorum* bleibt der Mischungsanteil gleich, da der höhere Anteil in der Trockenresistenz optimierten Mischung keine Erhöhung des Deckungsgrads in der Begrünung mit sich bringt. *Petrothagia saxifraga* hingegen erreichte durch die Erhöhung des Gewichtsanteils in der Trockenresistenz optimierten Mischung auch höhere Deckungsgrade in der Begrünung. Der Anteil von *Petrothagia saxifraga* wird deshalb erhöht. *Plantago media* konnte sich sehr gut entwickeln und muss nicht vermehrt in der Mischung enthalten sein. Der Anteil von *Potentilla tabernaemontani* wird leicht erhöht, da der höhere Anteil in der Artenreichen Mischung auch höhere Deckungsgrade in Vergleich mit den anderen Mischungen zeigte. Außerdem ist die Pflanze mit ihrem niederliegenden,

teppichartigen Wuchs sowie der Anpassung an Trockenheit und Magerkeit für den Standort gut geeignet.

In der Abbildung 114 ist eine optimierte Saatgutmischung im Vergleich mit der verwendeten Artenreichen Saatgutmischung dargestellt. Abbildung 115 zeigt die optimierte Saatgutmischung mit der Kostenaufstellung.

Optimierte Artenreiche Saatgutmischung für Straßenbahngleiskörper in Graz				
Arten	Mischungsanteil alt in		Mischungsanteil neu in	
	Gewichts-%	Gramm	Gewichts-%	Gramm
Gräser	68,5	685	70,0	700
Festuca ovina duriuscula	5,65	56,5	10,0	100
Festuca ovina s. str.	10,65	106,5	15,0	150
Cynodon dactylon	5,65	56,5	6,0	60
Cynosurus echinatus	5,65	56,5	0,0	0
Festuca valesiaca	10,65	106,5	10,0	100
Festuca rubra commutata	5,65	56,5	10,0	100
Koeleria macrantha	5,65	56,5	0,0	0
Lolium perenne	2,65	26,5	2,5	25
Poa compressa	10,65	106,5	11,0	110
Poa pratensis	5,65	56,5	5,5	55
Leguminosen	8,25	82,5	10,0	100
Lotus corniculatus	1,65	16,5	3,5	35
Trifolium dubium	1,65	16,5	1,5	15
Trifolium campestre	1,4	14	0,0	0
Trifolium repens	0,9	9	1,5	15
Medicago lupulina	2,65	26,5	3,5	35
Kräuter	23,25	232,5	20,0	200
Achillea millefolium	1,65	16,5	5,0	50
Anthemis nobilis	1,95	19,5	2,5	25
Bellis perennis	0,95	9,5	1,0	10
Dianthus carthusianorum	2,65	26,5	3,0	30
Galium verum	2,65	26,5	0,0	0
Hieracium pilosella	1,65	16,5	0,0	0
Petrorhagia saxifraga	1,65	16,5	3,5	35
Pimpinella saxifraga	2,65	26,5	0,0	0
Plantago media	2,15	21,5	2,0	20
Potentilla tabernaemontani	2,65	26,5	3,0	30
Thymus pulegioides	2,65	26,5	0,0	0
Summen	100	1000	100	1000

Abbildung 114: Optimierung der Artenreichen Saatgutmischung für die Begrünung der Straßenbahngleiskörper in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. Durch die Anpassung der Mischungsverhältnisse der Artenreichen Mischung mithilfe der Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade entsteht eine neue Saatgutmischung, die für den Standort geeignet ist. Die Rot hinterlegten Arten werden aus der Mischung entfernt.

Kosten für die optimierte Saatgutmischung für Straßenbahngleiskörper in Graz				
Arten	Mischungsanteil neu in		Verkaufspreis Stand 2009	
	Gewichts-%	Gramm	EUR/kg Saatgut	EUR/kg Saatgutmischung
Gräser	70	700		
Festuca ovina duriuscula	10,00	100	3,71	0,37
Festuca ovina s.str.	15,00	150	3,29	0,49
Cynodon dactylon	6,00	60	4,9	0,29
Festuca valesiaca	10,00	100	172,8	17,28
Festuca rubra commutata	10,00	100	3,5	0,35
Lolium perenne	2,50	25	2,7	0,07
Poa compressa	11,00	110	9,52	1,05
Poa pratensis	5,50	55	6,06	0,33
Leguminosen	10,00	100		
Lotus corniculatus	3,50	35	6,6	0,23
Trifolium dubium	1,50	15	8,8	0,13
Trifolium repens	1,50	15	5,44	0,08
Medicago lupulina	3,50	35	8,17	0,29
Kräuter	20,00	200		
Achillea millefolium	5,00	50	21	1,05
Anthemis nobilis	2,50	25	178	4,45
Bellis perennis	1,00	10	492,64	4,93
Dianthus carthusianorum	3,00	30	177,98	5,34
Petrorhagia saxifraga	3,50	35	406	14,21
Plantago media	2,00	20	121,89	2,44
Potentilla tabernaemontani	3,00	30	754	22,62
Summen	100	1.000		76

Abbildung 115: Kosten der optimierten Saatgutmischung für die Straßenbahngleisbegrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz.

Die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen haben gezeigt, dass im Laufe eines Jahres die Verdichtung der Tragschicht stark zugenommen hat. In diesem Zusammenhang verschlechterte sich auch die Wasserdurchlässigkeit. Die zu hohen Werte der Tragfähigkeit sind vermutlich auf die ständige Befahrung zurückzuführen. Obwohl eine Befahrung des Gleiskörpers nicht erlaubt ist, lassen die Fahrspuren (siehe Abbildung 116) darauf schließen, dass Autos und Busse die Gleisanlagen regelmäßig befahren, die eigentlich nur für die Benutzung durch Einsatzfahrzeuge ausgelegt sind.



Abbildung 116: Fahrspuren auf der Versuchsfläche in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. Bereits im September 2009 konnte eine deutliche Fahrspur auf der Versuchsfläche festgestellt werden, die vermutlich durch die Befahrung eines Linienbusses zustande gekommen ist (links). Aber auch Autos müssen die Versuchsfläche zu Ausweichzwecken benutzt haben, wie der Zustand der Fläche im Februar 2010 beweist (Mitte). Im Juni 2010 sind die Fahrspuren deutlich an der Vegetationsentwicklung zu sehen (rechts).

Für die Wasserdurchlässigkeit wurden bereits beim Einbau schlechte Werte festgestellt. Es ist daher davon auszugehen, dass aufgrund der Korngrößenverteilung des gelieferten Baustoff-Recyclingmaterials der auftreffende Niederschlag verzögert und unvollständig versickert. In Zukunft sollte darauf geachtet werden, dass der in der FLL-Richtlinie für begrünbare Flächenbefestigung (FLL 2008) angegebene Sieblinienbereich eingehalten wird.

Aufgrund der Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen hat sich keine der beiden Aufbauvarianten als besser geeignet erwiesen. Die Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade ergeben jedoch, dass die Aufbauvariante 1 für die Vegetationsentwicklung bessere Voraussetzungen bietet als die

Aufbauvariante 2. Bei der Aufbauvariante 1 bestehen beide Lagen der Vegetationstragschicht (untere Lage 12 cm, obere Lage 4 cm) aus einem Baustoff-Recyclingmaterial mit der Korngrößenverteilung 0/32 während bei der Aufbauvariante 2 die untere Lage (12 cm) aus einem Baustoff-Recyclingmaterial mit der Korngrößenverteilung 0/32 besteht und die obere Lage (4 cm) aus einem Baustoff-Recyclingmaterial mit der Korngrößenverteilung 0/20.

Um klare Aussagen treffen zu können, ist die Projektlaufzeit von einem Jahr zu kurz, vor allem im Hinblick auf die weitere Entwicklung der Vegetationszusammensetzung. Ein Besuch auf der Versuchsfläche im September 2010 zeigte, dass sich vor allem die Gräser etablieren konnten und außerdem viele eingewanderte Arten, wie Vogel-Knöterich, Löwenzahn und Gemüse-Portulak vorhanden sind (siehe Abbildung 117). Durch die weitere Beobachtung der Vegetationszusammensetzung könnte das Mischungsverhältnis der Saatgutmischung noch verfeinert werden. Einige Arten können sich längerfristig vielleicht gar nicht etablieren und werden von anderen Arten verdrängt. In diesem Zusammenhang wäre es interessant das Verhalten der eingewanderten Arten zu untersuchen.



Abbildung 117: Eingewanderte Arten auf der Versuchsfläche in der Conrad von Hötzendorfstraße in Graz. Im September 2010 konnten auf der Versuchsfläche einige eingewanderte Arten festgestellt werden, vor allem Vogel-Knöterich (links), Löwenzahn (Mitte) und Gemüse-Portulak (rechts).

Weiters sollten noch andere Arten auf ihre Eignung bei der Gleisbegrünung getestet werden. Aufgrund der Ergebnisse von HASLGRÜBLER (2008) könnte *Anthyllis vulneraria*, eine Art, die sich auf Recyclingmaterialien gut entwickelt hat, in Betracht gezogen werden. Auch *Festuca rubra rubra* wäre wegen der ausläuferbildenden Wuchsform (AUSTROSAAT 2010) eine Alternative zu *Festuca rubra commutata*. Im Hinblick auf die Belastung des Standorts durch Streusalz während der Winterbetreuung der angrenzenden Straßen könnten außerdem salztolerante Arten getestet werden. In diesem Zusammenhang soll die Möglichkeit einer alternativen Winterbetreuung in Form von Sägemehl statt Streusalz erwähnt werden, womit im Engadin bereits gute Erfolge erzielt wurden (Florin FLORINETH, mündliche Aussage November 2010).

Die Zerstörung von Teilen der Versuchsanlage war ein erschwerender Faktor bei der Interpretation der Ergebnisse. Interessant wäre ein Versuch unter kontrollierten Bedingungen, bei dem sichergestellt ist, dass die Fläche nur den Belastungen ausgesetzt wird für die sie konzipiert wurde. Die Befahrung von Linienbussen und Autos, sowie der Einsatz des Straßenpflugs sollten verhindert werden. Außerdem sollten auch jegliche Reinigungsarbeiten am Gleis bzw. an der umgebenden Gleiseindeckung zumindest so vorgenommen werden, dass die Versuchsfläche nicht beschädigt wird.

Die Ansaatmethode sollte optimiert werden, da bei der Begrünung von Straßenbahngleisen das Problem der Verwehung des Saatguts durch die Sogwirkung der darüberfahrenden Straßenbahnen besteht. Möglich wäre die Einarbeitung des Saatguts in das Substrat, wobei hier die Gefahr der Zerstörung desselben besteht. Jedenfalls sollte ein lang haltender Kleber verwendet werden.

Von großem Interesse wäre auch die Untersuchung der Klimawirksamkeit von Gleisbegrünungen. Wie in Kapitel 1.4.2. beschrieben, fanden solche Untersuchungen bereits in Deutschland durch das Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt- Universität zu Berlin statt. Dabei wurden jedoch Begrünungen mit Sedumarten getestet. Die Auswirkungen von Schotterrasenbegrünungen auf die kleinklimatischen Verhältnisse könnten sicher auch die Akzeptanz in der Bevölkerung beeinflussen. Im Zuge der Diplomarbeit wurde mehrmals Unverständnis für die Gleisbegrünung

festgestellt. Dies ging sogar bis zum Ärger über das Schmutzigmachen der Schuhe beim Darübergehen. Mit der Quantifizierung der positiven Eigenschaften der Gleisbegrünung könnte solchen Argumenten begegnet werden.

7. QUELLENVERZEICHNIS

7.1. Literaturverzeichnis

AICHELE D., SCHWEGLER H.-W. (2000): Die Blütenpflanzen Mitteleuropas Band 1-5. Franckh-Kosmos Verlag Stuttgart.

BACKMANN, R. (2010): Straßenbahnen, Stadtbahnen und U- Bahnen. Grundlagen Fahrzeugtechnik und Infrastruktur im ÖPV in Deutschland. Huss Verlag München.

BENEKE, G. (2003): Regenwasser in Stadt und Landschaft, Vom Stück-Werk zur Raumentwicklung – Plädoyer für eine Umorientierung (Beiträge zur räumlichen Planung, Heft 70). Institut für Freiraumentwicklung und Planungsbezogene Soziologie Universität Hannover.

BRV (2007): Richtlinie für Recycling-Baustoffe aus Hochbau-Restmassen, Rote Richtlinie, Österreichischer Baustoff-Recycling Verband Wien.

CONERT H. J. (2000): Pareys Gräserbuch, Die Gräser Deutschlands erkennen und bestimmen. Parey Berlin.

DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie, Grundlagen und Methoden. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

DÜRR, A., (1995): Dachbegrünung, ein ökologischer Ausgleich. Umweltwirkungen, Recht, Förderung. Bauverlag Wiesbaden.

FIEDLER, J. (2005): Bahnwesen. Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt-, und Straßenbahnen. Werner Verlag München Unterschleißheim.

FLL RSM (2008): Regel-Saatgut-Mischungen, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Bonn.

FLL (2008): Richtlinien für Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen, Ausgabe 2008 der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Bonn.

FLORINETH, F. (2004): Pflanzen statt Beton, Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Patzer Verlag Berlin – Hannover.

FSV (1997): RVS 11.062 Blatt 15, Baudurchführung, Grundlagen, Prüfverfahren, Steinmaterial. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr Wien.

GEIGER W., DREISEITL H., STEMPLEWSKI J. (2009): Neue Wege für das Regenwasser, Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten. Oldenbourg Industrieverlag München.

HAAS, M., SCHILD, I. (2003): Schotterrasen - Vegetationsentwicklung und geotechnische Eigenschaften verschiedener Aufbauten von Schotterrasen in Wien, Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien.

HÄCKEL, H. (2005): Meteorologie. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

HASLGRÜBLER, P. (2008): Vegetationsverhalten auf Schotterrasenparkplatzflächen aus Baustoffrecyclingmaterialien. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien.

HENZE, H.-J. (1999): Zum Stand der Technik der Gleisbett-Naturierung. In: Der schienengebundene Verkehr - ökologische und ökonomische Optimierungspotentiale in Städten und Kommunen durch Gleisbett-Naturierung. Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt- Universität zu Berlin.

HENZE, H.J., SIEMSEN, M. (2004): Zur Geschichte des „Grünen Gleises“. In: Eisenbahningenieur Kalender. Jahrbuch für Schienenverkehr und Technik 2004. Tetzlaff Verlag Hamburg.

HERZER, P. (2004): Einflüsse einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung auf den Städtebau, Räumliche, ökonomische und ökologische Aspekte. Diplomarbeit Universität Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart.

HOCHÖRTLER, A. (2005): Straßenbahn-Gleisbettbegrünungen in Wien und Berlin. Diplomarbeit Universität Wien.

ISTA (2008): Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. International Seed Testing Association. Bassersdorf.

KNAPP, R. (1971): Einführung in die Pflanzensoziologie. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

KNAPP, R. (1983): Möglichkeiten quantitativer Präzisierung bei Bestandsanalysen von Pflanzengesellschaften. In: Tuexenia 3/1983 Mitteilungen d. Floristisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft Göttingen.

KRAMER, E., RUDOLF, W., SIEMSEN, M. (1998): Wege zu einem Paradigmenwechsel. Gleisbett-Naturierung. In: Humboldt Spektrum 3/98 Berlin.

KUTSCHERA, L., LICHTENEGGER, E. (1992): Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen Band 1 und 2. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York.

- LÄNGERT, S. (2004): Untersuchung vegetationstechnischer und geotechnischer Parameter zur Optimierung der Schotterrasenbauweise, Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien.
- LAZAR, R., BUCHROITHNER, M. F., KAUFMANN, V. (1994): Stadtklima-analyse Graz. Magistrat Graz, Stadtplanungsamt.
- LEITNER, A. (2007): Plant compatibility of recycled construction materials for use in gravel turf, Pflanzenverträglichkeit von Recycling-Baustoffen für die Verwendung im Schotterrasen, Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien.
- LICHTBERGER, B. (2003): Handbuch Gleis. Unterbau, Oberbau, Instandhaltung, Wirtschaftlichkeit. Tetzlaff Verlag Hamburg.
- MASLOWSKI, S. (2007): Schotterrasen - im Spannungsfeld zwischen Theorie und Praxis, Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien.
- NIESEL, A. (2002): Bauen mit Grün. Die Bau- und Vegetationstechnik des Landschafts- und Sportplatzbaus. Parey Buchverlag Berlin.
- PFADENHAUER, J. (1997): Vegetationsökologie. IHW-Verlag Eching.
- ROTHMALER W. (1999): Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen: Grundband. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg-Berlin.
- SCHARF, B. (2001): Blumenrasen-Untersuchungen an den Saatgutmischungen 1998 und 1999. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien.
- SCHARF, B. (2009): Forschungsprojekt Grüne Gleise für Graz. Dokumentation der Errichtung der Versuchsstrecke in Graz. Universität für Bodenkultur Wien.
- SCHREITER, H., RICHTER, M. (2009): Neue Ansätze der Begrünung innerstädtischer Gleissysteme. In: Der Nahverkehr 7-8/2009. alba Fachverlag Düsseldorf.
- TRAXLER, A. (1997): Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings. Methoden, Praxis, angewandte Projekte. Teil A: Methoden. Umweltbundesamt Wien.
- TREMP, H. (2005): Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

7.2. Internetquellen

AUSTROSAAT (2010): http://www.austroaat.at/_lccms_/00466/Wildblumen-und-Rasengraeser-reinsortig.htm?VER=100215202116&LANG=geg&MID=1697 Zugriff: 7.10.2010

GIS STEIERMARK 2010: <http://www.gis.steiermark.at/cms/ziel/82016/DE/> Zugriff: 15.11.2010

GOOGLE MAPS 2009: <http://maps.google.de/> Zugriff: 2.12.2009

LEXER, W. (2004): Zerschnitten, versiegelt, verbaut?- Flächenverbrauch und Zersiedelung versus nachhaltige Siedlungsentwicklung. Tagungsbeitrag Grün statt Grau Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/raumordnung/flaechenverbrauch/> Zugriff: 15.09.2010

RAIL.ONE (2010): ATD-G und RHEDA City Grün. Die Grünen Gleise für den Nahverkehr. http://www.railone.com/fileadmin/dateien/03_Broschueren/DE/gruene_gleise_de_03.pdf Zugriff: 29.03.2010

UMWELTBUNDESAMT (2010) <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/raumordnung/flaechenverbrauch/> Zugriff: 15.09.2010

WIKIPEDIA (2010): http://de.wikipedia.org/wiki/Römische_Kamille Zugriff: 21.09.2010

WIKIMEDIA COMMONS 1 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trifolium_dubium.jpg Zugriff: 21.09.2010

WIKIMEDIA COMMONS 2 (2010): <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:TrifoliumRepensFlowers2.jpg> Zugriff: 21.09.2010

WIKIMEDIA COMMONS 3 (2010): <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Medicago.lupulina2.-.lindsey.jpg> Zugriff: 21.09.2010

WIKIMEDIA COMMONS 4 (2010): <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karringtand.jpg> Zugriff: 21.09.2010

WIKIMEDIA COMMONS 5 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trefle_jaune.jpg Zugriff: 21.09.2010

WIKIMEDIA COMMONS 6 (2010): <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koeh-241.jpg> Zugriff: 21.09.2010

WIKIMEDIA COMMONS 7 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thymus_pulegioides.jpg Zugriff: 21.09.2010

- WIKIMEDIA COMMONS 8 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hieracium_pilosella_plant.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 9 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Achillea_millefolium_20041012_2574.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 10 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dianthus_carthusianorum_a3.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 11 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bellis_perennis_Marburg_01.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 12 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anthemis_nobilis_prg_1.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 13 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galium_verum_001.JPG Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 14 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Potentilla_neumanniana1.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 15 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koeleria_macrantha.JPG Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 16 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Festuca_valesiaca1.JPG Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 17 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cynosurus_echinatus.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 18 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Festuca_spp_Sturm42.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 19 (2010): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gewoon_roodzwenkgras_Festuca_rubra_var._commutata.jpg Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 20 (2010): <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Poa.compressa.2.jpg> Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 21 (2010): [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Poa_pratensis_\(Veldbeemdgras_plant\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Poa_pratensis_(Veldbeemdgras_plant).jpg) Zugriff: 21.09.2010
- WIKIMEDIA COMMONS 22 (2010): [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Engels_raaigras_\(Lolium_perenne\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Engels_raaigras_(Lolium_perenne).jpg) Zugriff: 21.09.2010
- ZAMG 2010: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm Zugriff: 15.11.2010

7.3. Auskunftspersonen

DI Thomas Fischer

Stadtbaudirektion Graz

Europaplatz 20, 5. Stock,

8011 Graz

E-Mail: stadtbaudirektion@stadt.graz.at

O.Univ. Prof. Dr.phil. Florin Florineth

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Peter Jordanstraße 82

A-1190 Wien

e-mail: florin.florineth@boku.ac.at

Tel.: (+43)1/47654-7301

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1. Schematische Darstellung des Oberflächenabfluss auf versiegelten und unversiegelten Flächen	10
2. Tagesgänge der Temperatur auf verschiedenen Oberflächen	12
3. Schematischer Überblick über den Aufbau der Arbeit	17
4. Empfohlener Sieblinienbereich der Baustoffgemische für Schotterrasen.	19
5. Vergleich der Oberbau-Regelquerschnitte	21
6. Im Straßenbahnwesen verwendete Schienenformen	22
7. Schematische Darstellung einer hohen Eindeckung bei der Rillenschienen- Bauweise mit einer Sedumbegrünung	23
8. Schematische Darstellung der verschiedenen Eindeckungsarten beim Vignolschienenbau der Firma railone®	24
9. Lage der Versuchsstrecke im Stadtgebiet Graz	28
10. Zustand der Gleisbegrünung mit Rasengittersteinen in der Conrad von Hötendorfstraße	29
11. Lage der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötendorfstraße	30
12. Lage des Grazer Stadtgebiets	31
13. Durchschnittliche Lufttemperatur in Graz.	32
14. Durchschnittliche Niederschlagsmenge in Graz	33
15. Anzahl der besonderen Tage in Graz	33
16. Schematische Darstellung der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötendorfstraße	34
17. Tiefe der Betonwanne des Straßenbahngleiskörpers in der Conrad von Hötendorfstraße	35
18. Sieblinienbereich 0/22 bis 0/45 für Güteklasse III	36
19. Sieblinienbereich 0/32 bis 0/63 für Güteklasse III	36
20. Sieblinie des Materials RHZ III 0/32 A+	38
21. Sieblinie des Materials RZ III 0/20 A+.	38
22. Vergleich der Sieblinien mit dem von der FLL-Richtlinie empfohlenen Sieblinienbereich für Schotterrasen	38

23. Schematische Darstellung der Aufbauvariante 1	39
24. Schematische Darstellung der Aufbauvariante 2	39
25. Entfernen der Rasengittersteine	41
26. Gesäuberter Gleiskörper	41
27. Aufbringung des Recyclingmaterials der unteren Tragschicht	41
28. Einebnen des Recyclingmaterials mittels Rechen	41
29. Verdichtete untere Tragschicht und unverdichtete obere Tragschicht . . .	41
30. Verdichtung der Tragschicht mit einer statischen Glattwalze	41
31. <i>Trifolium dubium</i>	43
32. <i>Trifolium repens</i>	44
33. <i>Medicago lupulina</i>	44
34. <i>Lotus corniculatus</i>	44
35. <i>Trifolium campestre</i>	44
36. <i>Plantago media</i>	45
37. <i>Pimpinella saxifraga</i>	45
38. <i>Thymus pulegioides</i>	45
39. <i>Hieracium pilosella</i>	45
40. <i>Petrorhagia saxifraga</i>	46
41. <i>Achillea millefolium</i>	46
42. <i>Dianthus carthusianorum</i>	46
43. <i>Bellis perennis</i>	46
44. <i>Antehmis nobilis</i>	47
45. <i>Galium verum</i>	47
46. <i>Potentilla tabernaemontani</i>	47
47. <i>Koeleria macrantha</i>	47
48. <i>Festuca valesiaca</i>	48
49. <i>Cynosurus echinatus</i>	48
50. <i>Festuca ovina</i>	48

51. Cynodon dactylon	48
52. Festuca rubra commutata	49
53. Poa compressa	49
54. Poa pratensis	49
55. Lolium perenne	49
56. Zusammensetzung der Artenreichen Mischung	50
57. Zusammensetzung der Trockenresistenz optimierten Mischung	51
58. Zusammensetzung der Gräserreichen Mischung	51
59. Mischungsverhältnisse bei der Artenreichen Mischung	52
60. Mischungsverhältnisse bei der Trockenresistenz optimierten Mischung.	52
61. Mischungsverhältnisse bei der Gräserreichen Mischung.	53
62. Anfeuchten des Substrats	54
63. Auswiegen des Saatguts	54
64. Gleichmäßig aufgebrachttes Saatgut	54
65. Der organische Kleber Bio-Algeen®	54
66. Mischen des organischen Klebers Bio-Algeen® im Spritzfass.	54
67. Aufbringen des organischen Klebers mittels Schaufel als Prallkörper	54
68. Übersicht über die Einkeimung der einzelnen Arten	57
69. Desinfizierte Keimspiralen und Abdeckglocken	57
70. Keimspirale mit Docht	57
71. Auszählen des Saatguts	58
72. Ausgezählte Samen.	58
73. RUMED® Jacobsen Keimapparat Serie 5001.	58
74. Keimplatte mit Schlitz durch die der Docht gesteckt wird	58
75. Auszählen der Keimlinge	60
76. Normale Keimlinge mit gut entwickelten Wurzeln und Keimblättern	60
77. Anormale Keimlinge mit defekter Wurzel oder defekten Keimblättern	60
78. Vergleich der Keimlinge	60

79. Ergebnisse der Keimfähigkeitsprüfung	61
80. Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade 2009	63
81. Ergebnisse der Gesamtdeckungsgrade 2010	64
82. Vegetationsaufnahme auf der Versuchsstrecke in der Conrad von Hötzendorfstraße im Mai 2010	68
83. Schematische Darstellung der Aufnahmepunkte bei der Vegetationsaufnahme mittels Point-Line Methode.	69
84. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Artenreichen Mischung auf der Aufbauvariante 1	71
85. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Artenreichen Mischung auf der Aufbauvariante 2	71
86. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Trockenresistenz optimierten Mischung auf der Aufbauvariante 1.	74
87. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Trockenresistenz optimierten Mischung auf der Aufbauvariante 2	74
88. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Gräserreichen Mischung auf der Aufbauvariante 1	76
89. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2009 bei der Gräserreichen Mischung auf der Aufbauvariante 2	76
90. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Artenreichen Mischung auf der Aufbauvariante 1	79
91. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Artenreichen Mischung auf der Aufbauvariante 2	79
92. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Trockenresistenz optimierten Mischung auf der Aufbauvariante 1.	81
93. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Trockenresistenz optimierten Mischung auf der Aufbauvariante 2.	81
94. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Gräserreichen Mischung auf der Aufbauvariante 1	83
95. Ergebnisse der Einzeldeckungsgrade 2010 bei der Gräserreichen Mischung auf der Aufbauvariante 2	83
96. Entwicklung der Einzeldeckungsgrade bei der Artenreichen Mischung auf der Aufbauvariante 1	85

97. Entwicklung der Einzeldeckungsgrade bei der Artenreichen Mischung auf der Aufbauvariante 2	85
98. Entwicklung der Einzeldeckungsgrade bei der Trockenresistenz optimierten Mischung auf der Aufbauvariante 1.	87
99. Entwicklung der Einzeldeckungsgrade bei der Trockenresistenz optimierten Mischung auf der Aufbauvariante 2.	87
100. Entwicklung der Einzeldeckungsgrade bei der Gräserreichen Mischung auf der Aufbauvariante 1.	89
101. Entwicklung der Einzeldeckungsgrade bei der Gräserreichen Mischung auf der Aufbauvariante 2.	89
102. Gräser-Kräuter Verhältnis der Saatgutmischungen.	91
103. Ergebnisse der Gräser-Kräuter Verhältnisse 2009 Aufbauvariante 1 . . .	92
104. Ergebnisse der Gräser-Kräuter Verhältnisse 2009 Aufbauvariante 2 . . .	92
105. Ergebnisse der Gräser-Kräuter Verhältnisse 2010 Aufbauvariante 1 . . .	93
106. Ergebnisse der Gräser-Kräuter Verhältnisse 2010 Aufbauvariante 2 . . .	93
107. Messung der Tragfähigkeit	97
108. Ergebnisse des dynamischen Druckversuchs der oberen Lage der Vegetationstragschicht im Mai 2009	98
109. Ergebnisse des dynamischen Druckversuchs der unteren Lage der Vegetationstragschicht im Mai 2009	98
110. Ergebnisse des dynamischen Druckversuchs der Vegetationsschicht im Mai 2010.	99
111. Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit mittels Ausschüttversuch im Mai 2010.	101
112. Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsmessungen im Mai 2009	102
113. Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsmessungen im Mai 2010	102
114. Optimierung der Saatgutmischung.	105
115. Kosten der optimierten Saatgutmischung	106
116. Fahrspuren auf der Versuchsfläche	107
117. Fremdarten auf der Versuchsfläche.	108
118. Aufnahmeprotokoll zur Auswertung der Keimfähigkeit	126

119. Aufnahmeprotokoll zur Erhebung der Einzeldeckungsgrade und der
Gräser-Kräuter Verhältnises127

9. ANHANG

9.1. Interview mit DI Thomas Fischer

Das Interview wurde am 2. Juli 2010 geführt.

Welche Erfahrungen hat die Stadt Graz mit Gleisbegrünungen gemacht, bzw. worin bestehen die Vorteile von Gleisbegrünungen?

Bis jetzt wurden Gleisbegrünungen nur in den Randbereichen verwirklicht, wo die Straßenbahn abseits des Verkehrs geführt wird, z.b. in Mariatrost mit einem klassischen Rasengleis oder auch Richtung Murpark (Linie 4). Mariatrost ist eine Strecke, die im klassischen Eisenbahnbau Schienen-Schwelle System funktioniert. Dort gibt es keine Probleme mit dem Rasen, weil er genügend Substrat zur Verfügung hat. Feuchtigkeit kann von unten aufsteigen und der zur Verfügung stehende Substratraum ist größer. Mit der Zeit wachsen die Wurzeln auch durch den Eisenbahnschotter nach unten und der Wurzelraum vergrößert sich dadurch. Dort heizt sich auch der Untergrund nicht so stark auf. Bei Beton ist das Problem, dass er sich wie ein Schwamm mit Wasser ansaugt, vor allem die grobporigen Betone. Bei Rasengittersteinen zum Beispiel trocknen diese den Boden richtig aus, indem sie dem Boden Wasser entziehen und sofort an die Luft abgeben, weil sie so heiß werden. Anders ist es Richtung Murpark mit einem Schiene-Platte System, wo ähnliche Bedingungen herrschen wie in der Conrad von Hötzendorfstraße, nur ohne Befahrung. Das ist eine reine Gleistrasse, wo niemand fährt außer den Revisionsfahrzeugen, die aber auch das Gleis benutzen. In der Conrad von Hötzendorfstraße, von der Messe Richtung Innenstadt, wurden Kunststoffgitter verwendet, die auch nicht sehr gut funktionieren.

Gleisbegrünungen werden wegen der Verbesserung des Mikroklimas errichtet und weil es eine Möglichkeit ist die Versiegelung gering zu halten. Ein weiterer Grund ist die Trennung und Führung des Verkehrs, weil der Autofahrer auf einem Rasen oder einer Grünfläche weniger gern fährt als auf einer Asphaltfläche.

Gibt es negative Erfahrungen mit Gleisbegrünungen?

In der Conrad von Hötzendorfstraße gibt es Probleme mit den

Rasengittersteinen, wo durch die Verdichtung an der Oberfläche das Gras nicht aufkommen kann. Wenn es regnet, kommt es zu Bildung von Wasserlacken und, wenn es trocken ist, bildet sich Staub. Das ist dann Grund für Beschwerden. Dasselbe ist auch in Richtung Murpark der Fall.

Was kostet ein klassisches Rasengleis? Auch im Vergleich mit Asphalt und Rasengittersteinen.

In der Pflege gibt es kaum Unterschiede.

Werden die Rasengleise gemäht?

In Graz müssen die Gleisbegrünungen nicht gemäht werden. Außer in Mariatrost manchmal außerhalb der Schienen. Dabei werden die gleichen Geräte eingesetzt wie zum Mähen von Verkehrsinseln. Bei den anderen Begrünungen wird das Gras gar nicht so hoch.

Man geht von 0,5-1 Euro/m² im Jahr an Kosten für die Pflege und Erhaltung aus, aber das ist unabhängig davon ob es sich um eine Raseneindeckung handelt oder um eine mit Asphalt. Asphaltflächen müssen genauso gereinigt werden: gekehrt oder abgespritzt.

Müssen an der Schiene Wartungsarbeiten durchgeführt werden, für die das Rasengleis entnommen werden muss?

Im Idealfall hält die Schiene in der Geraden 50-70 Jahre ohne Wartungsarbeiten.

Wieviele km Gleisbegrünungen hat Graz?

Graz hat 49 km Liniennetz und ca. 32 km Streckennetz. Die Strecke von Maria Grün bis Mariatrost ist durchgehend begrünt. Vom Stadion Liebenau bis zur Endhaltestelle der Linie 4 besteht eine Begrünung mit Kunststoff-Rasengittern auf einem eigenen Gleiskörper. Die Conrad von Hötzendorfstrasse bis zur Grazbachgasse ist streckenweise mit Beton-Rasengittersteinen und Kunststoff-Rasengittersteinen begrünt.

Welche Erwartungen hat die Stadt Graz an das Versuchsprojekt?

Ziel war es immer ein Grünes Gleis zu haben. Zum Schotterrasen sind wir über Thomas Proksch gekommen mit der Idee es einfach auszuprobieren. Man konnte die Wirtschaftsbetriebe und die Grazer Verkehrsbetriebe dafür gewinnen. Die Begrünung soll belastbar und befahrbar sein, was auch gut

funktioniert. Es soll eine günstige Variante sein und dauerhaft grün werden. Mit diesen Erwartungen wurde mit der Boku Kontakt aufgenommen und vereinbart eine Versuchsstrecke zu errichten. Die Frage war, wie das System unter diesen sehr kritischen Bedingungen funktioniert, weil das Gleis sehr exponiert und die Aufbauhöhe sehr gering ist.

Warum wurden in der Conrad von Hötzendorfstraße Rasengittersteine verwendet?

Das war damals, vor 5 Jahren, Stand der Technik. Rasengleis konnte aufgrund der Tragfähigkeit nicht eingesetzt werden. Die Strecke war immer schon eine Schwerverkehrsrouten, auf der überbreite, überschwere und überlange Transporte durch Graz abgewickelt werden. Die Gleise haben immer befahrbar sein müssen. Es gibt definierte Routen, die von Seiten des Landes verordnet sind, auf denen diese Transporte durchgeführt werden müssen.

Die Anfangsbereiche der Strecke sind sehr beeinträchtigt, das heißt dort ist das Substrat stark verdichtet und die Vegetationsdecke sehr gering. Wie erklären Sie sich das?

Ich habe noch keine Autos gesehen, die auf der Strecke fahren. Außer wenn die Müllabfuhr auf der Straße stehen bleibt, weichen sie auf den Gleiskörper aus, das dann aber auf der ganzen Länge. Ich kann mir eher vorstellen, dass der Straßenschneepflug die asphaltierten Bereiche freiräumt, die ja auch von den Autos als Kreuzungsbereiche genutzt werden, und dann die Anfangsbereiche der Versuchsstrecke als Ein- bzw. Ausfahrtsschneisen benutzt.

Sind noch weitere Gleisbegrünungen geplant?

Wenn der Versuch gelingt, ist es durchaus geplant, dass man die endständigen Gleise, so wie in Richtung Murpark, mit diesem System austauscht. Dort gibt es keine Befahrung. Die dort verlegten Kunststoffwaben sind auch pflegebedürftig, das heißt sie müssen alle 4-5 Jahre ausgetauscht werden, weil der Kunststoff spröde wird. Schotterrasen ist recht günstig und wenn es nötig ist, kann er ohne großen technischen Aufwand entfernt werden. So schlecht schaut die Begrünung in der Conrad von Hötzendorfstraße nicht aus, wenn man bedenkt, das sie durch Salzstreuung, Befahrung mit dem Straßenpflug und Auskehrung mittels eines Stahlbesens beeinträchtigt wurde.

9.2. Aufnahmeprotokolle

Einkeimung		Art		Methode	
Datum		Anzahl		BearbeiterIn	
Uhrzeit		Behältnis			
Erstauszählung					
Keimdauer					
Datum					
Endauszählung					
Keimdauer					
Datum					
Gekeimte Samen					
Normale Keimlinge			Anomale Keimlinge		
Intakte	Leichte Schäden	Sekundärinfektion	beschädigt	deformiert	angefault
Ungekeimte Samen					
			Harte		Frisch
Keimfähigkeit					
Summe gekeimte normale Samen					
Summe gekeimte anomale Samen					
Summe ungekeimte Samen					

Abbildung 118: Aufnahmeprotokoll zur Auswertung der Keimfähigkeit.

Vegetationsaufnahme Conrad von Hötzendorfstrasse

Aufbauvariante	Datum
Saatgutmischung	Bearbeitung
Anmerkung	Seitennr.

Transekt	Punkt	Treffer				Gräser							Leguminosen				Kräuter													
		Stein	Feinmaterial	Pflanze	Tote Pflanze	Blanke	Festuca ovina	Cynodon dactylon	Cynosurus echinatus	Festuca valesiaca	Festuca rubra com.	Koeleria macrantha	Lolium perenne	Poa sp.	Lotus corniculatus	Trifolium dubium	Trifolium campestre	Trifolium repens	Medicago lupulina	Achillea millefolium	Anthemis nobilis	Bellis perennis	Dianthus carthusianorum	Galium verum	Hieracium pilosella	Petrorhagia saxifraga	Pimpinella saxifraga	Plantago media	Potentilla tabernaemontana	Thymus pulegioides
1	a																													
	b																													
2	a																													
	b																													
3	a																													
	b																													
4	a																													
	b																													
5	a																													
	b																													
6	a																													
	b																													
7	a																													
	b																													
8	a																													
	b																													
9	a																													
	b																													
10	a																													
	b																													
11	a																													
	b																													
12	a																													
	b																													
13	a																													
	b																													
14	a																													
	b																													
15	a																													
	b																													

Abbildung 119: Aufnahmeprotokoll zur Erhebung der Einzeldeckungsgrade und des Gräser-Kräuter Verhältnis.