

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UNR

**Duales Dachbegrünungssystem: 'Orchideenwiesen und Weinanbau übereinander' am
Beispiel von Projekt KHK St. Gallen**



Bachelorarbeit

Von

Roman Tribelhorn

Bachelorstudiengang 2015

Abgabedatum: 18. April 2019

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Fachkorrektoren:

Ing. Rafael Schneider
ZHAW, Departement N, Grüental, 8820 Wädenswil

Ing. Agr. FH Markus Hardegger
Landwirtschaftliches Zentrum SG Weinbau

Duales Dachbegrünungssystem: 'Orchideenwiesen und Weinanbau übereinander' am Beispiel von Projekt KHK St. Gallen

Bachelorarbeit

Impressum

Bild Titelseite: Duales Dachbegrünungssystem KHK St. Gallen

Quelle: Roman Tribelhorn, 20.06.2018

Schlagworte

Duales Dachbegrünungssystem, Magerwiesen, Orchideenwiese, Urbane Landwirtschaft, Roof top Farming, Weinbau auf dem Dach, Wachstumsdepression, Zeigerwerte, Nährstoffregulierung

Zitiervorschlag

Tribelhorn, R. (2019): *Duales Dachbegrünungssystem: „Orchideenwiesen und Weinanbau übereinander“ am Beispiel von Projekt KHK St. Gallen*. Bachelorarbeit IUNR, ZHAW Wädenswil. unveröffentlicht

Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen (IUNR)

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften

Grüental, Postfach

CH-8820 Wädenswil

Danksagung

Für die Fertigstellung der vorliegenden Arbeit konnte ich auf Unterstützung von fachkundigen Personen zurückgreifen. Ich danke Rafael Schneider für die Betreuung und Beratung vom Anfang bis zum Schluss. Markus Hardegger möchte ich für seine fachmännische Begleitung bezüglich der Weinbauthematik sowie das zur Verfügung stellen von Fachliteratur danken. Rahel Wanner danke ich für die tatkräftige Unterstützung im Labor sowie für das Ausführen verschiedenster Substratanalysen. Mein Dank gilt ebenfalls Simon Hafner für das durchführen der Fühlproben sowie Oliver Merlot von der Statistikberatung. Zuletzt möchte ich mich noch bei Martin Brunner für das zur Verfügung stellen von CAD-Daten bedanken.

Zusammenfassung

Immer mehr Grün- und Brachflächen im Siedlungsgebiet werden aufgrund des steigenden Bedarfs an Wohnraum und der im neuen Raumplanungsgesetz angestrebten Inneren Verdichtung überbaut. Dadurch gehen wichtige Lebensräume für die einheimische Flora und Fauna verloren. Durch die Umzonung von Landwirtschaftsflächen in Bauland, schwinden wichtige Produktionsstandorte in den städtischen Gebieten. Dachbegrünungen können hier Abhilfe schaffen, in dem sie als Ersatzlebensraum und Produktionsfläche fungieren. Im 2017 realisierte die Forschungsgruppe Stadtökologie der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ein Duales Dachbegrünungssystem auf dem Dach des Kehrichtheizkraftwerkes St. Gallen, welches diese beiden Aspekte vereint. Für den Artenschutz wurden Magerwiesen geschaffen und unter dem Gesichtspunkt der Urbanen Landwirtschaft wird in denselben Flächen Rebbaubetrieben.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eruiert, ob sich der konträre Nährstoffhaushalt beider Nutzungsformen mit sich vereinbaren lässt und wie die Risikofaktoren in Einklang mit den Systemanforderungen gebracht werden können. Dazu wurden die Substrate der Magerwiesen und Rebtröge auf bodenökologische Faktoren untersucht sowie Vegetationsanalysen vorgenommen. Zudem wurde anhand der Triebblängen der Reben eine Vitalitätsbeurteilung durchgeführt.

Aufgrund der Nährstoffanalysen konnte aufgezeigt werden, dass sich die Magerwiesen bei allen Sichtaufbauten und Substraten etablieren können. Beim Substrat der Rebtröge wurde ein Mangel der Makronährstoffe Phosphor und Stickstoff festgestellt, welcher die Ursache für die festgestellte Wachstumsdepression bei einem Teil der Reben sein könnte. Die Vegetationsanalysen zeigen, dass es sich um eine junge Vegetation handelt, die im Anfangsstadium ihrer Entwicklung steht. Aufgrund der undifferenzierten Zeigerwerte konnten keine Rückschlüsse auf die Standortbedingungen gezogen werden. Die Resultate der Nährstoffanalysen sind diesbezüglich aussagekräftiger.

Abstract

More and more green space and fallow land in urban areas is being built upon due to the increasing demand for residential property, and because of quest for densification in new spatial planning. As a result, valuable habitats of our native Flora and Fauna is being lost. By rezoning agricultural land into building areas, important agrarian production space in urban environments is disappearing. Green roofs are one solution to this issue. They can serve as alternative habitats for plants and animals and they can also be used as agricultural production space. In 2017, the Urban Ecology Research Group of the Zurich University of Applied Sciences implemented a dual roof greening system on the rooftop of the waste incineration plant located in St. Gallen. This green roof combines both aspects on the same building. Species conservation is realised in form of poor grassland and urban farming by viticulture.

In the course of this thesis it was determined if the contrary nutrient balance of both forms of usage can be combined and how the risk factors can be reconciled with the system requirements. For this purpose, soil ecological factors on the substrates of the poor grasslands and viticulture area were researched. Furthermore, a vegetation analysis was conducted and the vitality of the vine was tested by measuring the length of the shoots.

Based on the nutrient analyses it was possible to show that the stratum compositions and the substrates allows poor grasslands to establish themselves. The substrate of the viticulture area lacks of the macronutrients phosphor and nitrogen. This is probably the cause of the stunted growth observed in some vines. The results of the vegetation analysis showed that the vegetation on the rooftop of the waste incineration plant is still very young and in the initial state of its development. Due to the undifferentiated results of the indicator values, no conclusions about the ecological conditions could be made. The results of the nutrient analysis are more meaningful in this respect.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theorieteil	4
2.1	Duales Dachbegrünungssystem	4
2.2	Artenschutz.....	4
2.2.1	Artenschutz auf dem Dach.....	4
2.2.2	Pfeifengraswiese (<i>Molinion</i>).....	6
2.2.3	Mitteleuropäischer Halbtrockenrasen (<i>Mesobromion</i>)	6
2.3	Urbane Landwirtschaft.....	7
2.3.1	Weinbau im urbanen Raum	7
2.3.2	Ansprüche der Reben im Trog	8
2.3.3	Einfluss der Rebenerziehung auf das Triebwachstum.....	9
2.3.4	Wachstumsdepression.....	9
3	Material und Methode	10
3.1	Untersuchungsgebiet.....	10
3.2	Substratanalysen	15
3.2.1	Leitfähigkeit und pH-Wert	16
3.2.2	C/N-Verhältnis	17
3.2.3	Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA).....	17
3.2.4	Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES).....	17
3.2.5	Phosphat Bestimmung mittels Photometrie.....	18
3.2.6	Körnung.....	18
3.2.7	Bodenmatrix	18
3.3	Vegetationsaufnahme	19
3.4	Vegetationsanalyse mit VegeDaz.....	20
3.5	Statistische Auswertungen.....	21

3.6	Vitalitätsbeurteilung Reben	21
4	Resultate	22
4.1	Substratanalysen	22
4.1.1	Leitfähigkeit und pH-Wert	22
4.1.2	C/N-Verhältnis	23
4.1.3	Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA).....	25
4.1.4	Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES).....	26
4.1.5	Phosphat Bestimmung mittels Photometrie.....	28
4.1.6	Körnung	28
4.1.7	Bodenmatrix	29
4.2	Vegetationsanalyse mit VegeDaz	31
4.2.1	Zeigerwerte Kreisflächen	34
4.2.2	Zeigerwerte Lebensräume	35
4.2.3	Zeigerwerte auffällige Pflanzen (AP).....	36
4.2.4	Zeigerwerte Pflanzen in Rebtrögen (RT).....	36
4.2.5	Lebensraumeinheiten	38
4.2.6	Floristische Ähnlichkeit	40
4.3	Vitalitätsbeurteilung Reben	42
5	Diskussion	44
5.1	Vegetationsaufnahme	44
5.1.1	Zeigerwerte.....	45
5.1.2	Lebensraumeinheiten	47
5.1.3	Floristische Ähnlichkeit	48
5.1.4	Synthese der Vegetationsanalysen.....	48
5.2	Substratanalysen	48
5.2.1	pH-Wert und Leitfähigkeit	49

**Duales Dachbegrünungssystem
'Orchideenwiesen und Weinanbau übereinander'**

5.2.2	C/N-Verhältnis	49
5.2.3	Nährstoffanalysen	50
5.2.4	Synthese Substratanalysen	51
5.3	Eignung der Schichtaufbauten für Magerwiesen	51
5.4	Vitalitätsbeurteilung Reben	52
5.5	Funktionalität des Dualen Dachbegrünungssystem	53
5.6	Schlussfolgerung und Ausblick	53
6	Literaturverzeichnis	56
	Abbildungsverzeichnis	60
	Tabellenverzeichnis	61
	Diagrammverzeichnis	63
	Anhang	64

1 Einleitung

Die Schweizer Bevölkerung wächst kontinuierlich und parallel dazu steigt der Bedarf an Wohnraum. Mit der im revidierten Raumplanungsgesetz angestrebten Inneren Verdichtung, geraten Grün- und Brachflächen im Siedlungsgebiet zunehmend unter Druck. Durch die Umzonung von Agrarland in Bauland, schwinden wichtige landwirtschaftliche Produktionsstandorte in den urbanen Gebieten. Der Lebensraum für Flora und Fauna im Siedlungsgebiet schwindet fortlaufend. Gleichzeitig nimmt das Phänomen der Städtischen Wärmeinseln, mit seinen negativen Auswirkungen auf den Menschen, zu. Ferner nimmt das Wasserrückhaltevermögen aufgrund der steigenden Versiegelung ab. In Kombination mit den durch die Klimaerwärmung verursachten steigenden Starkniederschlagsereignissen, führt dies zu einer Häufung an Hochwassern und Überschwemmungen (Brenneisen 2016).

Mit Dachbegrünungen kann und wird diesen negativen Trends bereits aktiv entgegengewirkt. Begrünte Dächer dienen als Ersatzlebensraum für Pflanzen sowie Tiere und leisten dadurch einen Beitrag zum Erhalt der Biodiversität. Beim Roof top Farming, einer Variante der Urbanen Landwirtschaft, werden Nutzpflanzen auf Dächern angebaut. Dadurch ist es möglich, die schwindenden bodengebundenen Agrarflächen in städtischen Gebieten zu kompensieren. Lebensmittel können weiterhin lokal produziert, vermarktet und verkauft werden. Weite Transportwege und damit verbundene Emissionen fallen weg, die Frische der Produkte ist garantiert.

Die Verdunstung von Regenwasser sowie die Verschattung durch Pflanzen wirkt dem Effekt der Städtischen Wärmeinsel entgegen, da sich Baukörper weniger stark erwärmen und durch die Verdunstung das Lokalklima verbessert wird. Dachbegrünungen haben eine positive Auswirkung auf das Regenwassermanagement und somit auf die Siedlungsentwässerung, indem sie die Retention des Regenwassers erhöhen. Dadurch erhöht sich die Verdunstungsrate und der Abfluss von Grauwasser kann reduziert werden. Weitere Vorteile von Dachbegrünungen sind eine Verbesserung der Luftqualität sowie Schutz der Bausubstanz. Zudem steigern Grünflächen im Siedlungsgebiet die Lebensqualität und wirken sich positiv auf die Gesundheit aus, indem sie stressreduzierend wirken (Brenneisen 2016).

2017 realisierte die Forschungsgruppe Stadtökologie der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in Wädenswil ein Duales Dachbegrünungssystem auf dem Dach des Kehrlichtkraftwerkes (KHK) St. Gallen, bei welchem die beiden Aspekte «Artenschutz» und «Urbane Landwirtschaft» auf derselben Dachfläche umgesetzt wurden. Artenschutz wird in Form von Magerwiesen (*Molinion* und *Mesobromion*), mit einheimischen Orchideen als Zielarten, betrieben. Hierzu wurden mithilfe von unterschiedlichen Schichtaufbauten und Substratkombinationen insgesamt sieben verschiedene Lebensräume geschaffen.

Unter dem Gesichtspunkt der Urbanen Landwirtschaft wird in 52 Trögen mit insgesamt 156 Rebstöcken, in denen insgesamt fünf pilzwiderstandsfähige Rebsorten (PIWI) verwendet werden, Rebbau betrieben.

Bei diesem dualen Dachbegrünungssystem ist vor allem der konträre Nährstoffhaushalt der beiden Nutzungsformen eine Herausforderung. Reben benötigen Böden, welche gut mit Nährstoffen versorgt sind. Orchideen sind hingegen auf magere Standorte mit niedrigem Stickstoffhaushalt angewiesen, da sich sonst die für Orchideen lebensnotwendigen Mykorrhizapilze nicht entwickeln können.

Im Rahmen dieser Arbeit soll eruiert werden, wie weit sich der Nährstoffhaushalt in beiden Ökosystemen trennen, messen und beeinflussen lässt. Es stellt sich die Frage, welche Risiken ein solches Dualsystem mit sich bringt und wie die Risikofaktoren in Einklang mit den Systemanforderungen gebracht werden können. Hierzu werden Substratproben aller erstellten Lebensräume inklusive der Tröge genommen und im Labor auf verschiedene Parameter untersucht. Zudem werden bodenökologische Faktoren zur Ergänzung des Gesamtbildes miteinbezogen. Ausserdem wird eine Vegetationsaufnahme mittels Vegetationsringen durchgeführt. Mit dieser Aufnahme sollen folgende Fragen beantwortet werden: Welche Vegetationsformen, respektive Lebensraumtypen können ein Jahr nach der Realisierung erwartet werden? Wie ist der Deckungsgrad der Gesamtvegetation je untersuchte Fläche? Welches sind die fünf häufigsten Arten und deren Deckungsgrad pro untersuchter Fläche? Die ausgeführten Fragestellungen sind in den untenstehenden Hypothesen zusammengefasst:

H(a)0: Es wurden Störeinflüsse/Fehler im Dualen Dachbegrünungssystem festgestellt. Das Duale Dachbegrünungssystem scheint nicht zu funktionieren.

H(a)1: Es wurden Störeinflüsse/Fehler in einzelnen Bereichen des Dualen Dachbegrünungssystem festgestellt. Das Duale Dachbegrünungssystem scheint bedingt zu funktionieren.

H(a)2: Es wurden soweit keine Störeinflüsse/Fehler im Dualen Dachbegrünungssystem festgestellt. Das Duale Dachbegrünungssystem scheint zu funktionieren.

H(b)0: Die geplanten Magerwiesen können sich aufgrund der gewählten Schichtaufbauten und der Substratwahlen nicht etablieren.

H(b)1: Bei einem Teil der gewählten Schichtaufbauten und Substraten kann sich eine Magerwiese etablieren.

H(b)2: Die geplanten Magerwiesen können sich bei allen Schichtaufbauten und Substraten etablieren.

Als ein weiteres Ziel dieser Arbeit soll ermittelt werden, ob die Reben vital sind oder Anzeichen einer Wachstumsdepression aufweisen. Hierfür werden die Triebhöhen der einzelnen Triebe gemessen und diese anschliessend ausgewertet. Folgende Hypothese wurde dazu aufgestellt:

H(c)0: Die Triebe der Reben weisen keine Wachstumsdepression auf.

H(c)1: Bei einem Teil der Reben weisen die Triebe eine Wachstumsdepression auf.

H(c)2: Die Triebe aller Reben weisen eine Wachstumsdepression auf.

2 Theorieteil

In diesem Kapitel wird definiert, was ein Duales Dachbegrünungssystem ausmacht. Es wird erläutert, was unter Artenschutz zu verstehen ist und welche Bedeutung begrünte Dächer diesbezüglich haben. Der Begriff «Urbane Landwirtschaft» wird erklärt und es wird mit Beispielen auf die Geschichte des Weinbaus im urbanen Raum eingegangen. Zudem wird betrachtet, welche Ansprüche Reben in den Trögen haben, was für einen Einfluss die Rebenerziehung auf das Triebwachstum hat und wie sich eine Wuchsdepression bei Reben äussert.

2.1 Duales Dachbegrünungssystem

Dachbegrünungen sind, wie der Name bereits sagt, begrünte Dächer. Es wird zwischen Extensiv- und Intensivbegrünungen unterschieden. Extensivbegrünungen sind naturnah angelegt, beheimaten gärtnerisch anspruchslose Pflanzen und zeichnen sich durch einen geringen Pflegeaufwand aus. Intensivbegrünungen sind nach gestalterischen Zielvorstellungen angelegt, beheimaten gärtnerisch anspruchsvollere Pflanzen und sind auf eine aufwändigere Pflege angewiesen (Brenneisen, 2016). Dachbegrünungssysteme sind folglich Systeme die dem Begrünen von Dächern dienen. Diese können sich sowohl in der Begrünungsform sowie dem Nutzen der Begrünung unterscheiden. Ein Duales Dachbegrünungssystem wiederum vereint zwei unterschiedliche Systeme der Dachbegrünung.

2.2 Artenschutz

Unter Artenschutz versteht man eine Vielzahl an Massnahmen, welche dem Schutz der vom Aussterben bedrohten Tier- und Pflanzenarten in der freien Natur dienen. In der Schweiz wird der Artenschutz grundsätzlich durch den Lebensraumschutz gewährleistet. Für Arten bei welchen der Lebensraumschutz nicht ausreicht, gibt es zudem Artenförderprogramme. Als Hilfsmittel dienen die Roten-Listen der gefährdeten Arten, welche nach den wissenschaftlichen Kriterien der International Union for Conservation of Nature (IUCN) erarbeitet und regelmässig aktualisiert werden (BAFU, 2012).

2.2.1 Artenschutz auf dem Dach

Seit dem Beginn der Industrialisierung findet eine kontinuierliche Intensivierung der Landwirtschaft statt. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts sind zur landwirtschaftlichen Bodenverbesserung Feuchtgebiete grossflächig trockengelegt worden. Durch den Einsatz von mineralischem Kunstdünger wurden Magerwiesen und extensive Weiden schrittweise in intensiv genutztes Grünland umgewandelt. Auch die wachsende Bevölkerung und die damit verbundene Siedlungsausdehnung auf Kosten des Kul-

turlands trägt ihren Teil dazu bei (Wartmann, 2008). Dadurch wurden und werden immer noch wertvolle Lebensräume für die einheimische Flora und Fauna beeinträchtigt oder zerstört. Gemäss S. Eggenberg et al. (2001) sind in den letzten 60 Jahren schätzungsweise 90% der Trockenwiesen und -weiden in der Schweiz verloren gegangen. 40% der Pflanzenarten und über 50% der Tierarten dieser Lebensräume stehen auf der Roten-Liste und sind gefährdet oder vom Aussterben bedroht. Begrünte Dachflächen können hier Abhilfe schaffen, indem sie als Sekundärstandorte für bedrohte Arten fungieren. Abgesehen von wenigen technischen Kontrollgängen im Jahr, kann sich die Vegetation ungestört entwickeln und Organismen sich ebenso störungsfrei etablieren (Brenneisen, 2003). Die Besiedlung durch bedrohte oder geschützte Arten kann spontan erfolgen aber auch gezielt gefördert werden, indem beispielsweise Schnittgut einer ökologisch wertvollen Spenderfläche übertragen wird oder Strukturen wie Holz- und Lesesteinhaufen geschaffen werden, welche Tieren als Teilhabitate dienen. Zudem können extensiv begrünte Dächer die Funktion eines Trittsteinbiotops einnehmen und somit bei der regionalen Vernetzung von Populationen helfen.

In der Schweiz gibt es diverse Beispiele von erfolgreichen Besiedelungen von Dächern durch seltene und bedrohte Arten. Sowohl Spontane wie auch Gezielte. Im Folgenden werden einige Beispiele erläutert:

Auf mehreren Dächern der Europa-Allee in Zürich sind extensive Begrünungen für die Zielart Blauflügelige Sandschrecke (*Sphingonotus caeruleus*) geplant und angelegt worden. Bereits drei Jahre nach deren Fertigstellung konnte die seltene Art, welche auf der Roten-Liste steht, bereits nachgewiesen werden (Speck & Brenneisen, 2014).

Die 1914 begrünten Flachdächer des Seewasserwerks Moos in Wollishofen ZH sind ein eindrückliches Beispiel, welchen Beitrag Dachbegrünungen bezüglich Artenschutz leisten können. Auf den Magerwiesen der Dächer finden sich rund 180 Pflanzen, darunter 9 Orchideenarten, welche im östlichen Mittelland als selten und gefährdet gelten (Brenneisen, 2003). Als Substrat wurde damals eine Schicht Boden von ca. 30 cm Mächtigkeit auf die Dächer ausgebracht. Woher das Saatgut seinerzeit kam, ist nicht bekannt. Es ist jedoch anzunehmen, dass es mit dem aus der Gegend stammenden Boden sowie durch Sameneitrag aus der Umgebung eingebracht wurde (Landolt, 2001).

Die Flachdächer des Kantonspitals St. Gallen (KSSG) zeichnen sich ebenfalls durch ein reiches Vorkommen an Orchideen aus. Bei einer Vegetationsanalyse im 2011 konnten auf den Flachdächern sechs Orchideenarten (*Dactylorhiza fuchsii*, *D. incarnata*, *D. lapponica*, *D. majalis*, *Epipactis palustris* und *Gymnadenia conopsea*) und zwei Arten (*Cephalanthera rubra* und *Listera ovata*) auf den Bodenflächen des Areals festgestellt werden. Insgesamt wurden gut 1900 blühende Individuen gezählt (Granacher, 2011). Bei einer Untersuchung ein Jahr zuvor konnten ausserdem die drei Arten *Dactylorhiza traunsteineri*, *Listera ovata* und *Platanthera bifolia* nachgewiesen werden (Schneider, 2010). Nebst den Orchideenarten wurde auch der Rundblättrige Sonnentau (*Drosera rotundifolia* L.),

eine Rote-Listen Art die potenziell gefährdet ist, gefunden. Bei den Orchideen auf den Dächern des KSSG handelt es sich um eine Spontanbegrünung, welche durch Anemochorie (Windverbreitung) aus Vorkommen der Region erfolgte (Granacher, 2011).

Die auf den Flachdächern des KSSG gefunden Orchideenarten *Dactylorhiza fuchsii*, *D. majalis*, *D. incarnata*, *Listera ovata*, *Gymnadenia conopsea* und *Epipactis palustris* entsprechen den Zielarten, die auf dem Dach des KHK St. Gallen vorgesehen sind. Beim KHK St. Gallen sind zudem die Arten *Anacamptis morio*, *Orchis coriophora*, *O. mascula* und *Ophrys apifera* angedacht. Abgesehen von *Orchis coriophora* kommen gemäss Ellen Granacher (2011) alle im einem Perimeter von 20x20 km um St. Gallen vor.

2.2.2 Pfeifengraswiese (*Molinion*)

Auf den durch Gebäudeelemente zeitweise beschatteten und dadurch feuchteren Flächen des KHK St. Gallen Daches dient die Lebensraumeinheit «*Molinion*» als Vorbild. Sie umfasst Feuchtwiesen, die meistens kalkhaltige Böden aufweisen, jedoch oberflächlich versauert sind. Das Grundwasser kann vorübergehend bis fast an die Erdoberfläche reichen (temporäre Staunässe). Obwohl der Boden viel organisches Material enthält, ist er immer nährstoffarm. Die Böden des *Molinion* bewegen sich im feuchten sowie neutralen bis leicht basischen Bereich. Pfeifengraswiesen sind auf eine späte Mahd angewiesen, damit sich auch spätblühende Arten voll entwickeln und versahmen können. Um eine Anreicherung von Nährstoffen zu verhindern, ist der Abtransport des Schnittguts essentiell. Entwässerungen durch Bodenmeliorationen sowie Nährstoffeinträge durch Dünung gefährden diese Lebensraumeinheit. Das *Molinion* weist eine reichhaltige Flora auf, die unter anderem zahlreiche geschützte Orchideen beinhaltet (Delarze, Gonseth, Eggenberg & Vust, 2015). Die Zielarten *Dactylorhiza fuchsii*, *D. majalis*, *D. incarnata*, *Listera ovata*, *Gymnadenia conopsea* und *Epipactis palustris* sind auf den Dachflächen dieser Lebensraumeinheit vorgesehen.

2.2.3 Mitteleuropäischer Halbtrockenrasen (*Mesobromion*)

Bei den sonnenexponierten Standorten auf dem Dach des KHK St. Gallens soll die Lebensraumeinheit «*Mesobromion*» entstehen, für welche geschlossene bis leicht lückige Grünlandgesellschaften kennzeichnend sind. Trockenresistente Gräser und Leguminosen sind hier dominant. Der Mitteleuropäische Halbtrockenrasen ist häufiger auf Kalkrohböden zu finden als auf kristallinem Untergrund, da diese meist wasserdurchlässiger sind. Die Böden des *Mesobromion* sind mager, basisch und trocken. Halbtrockenrasen befinden sich vorzugsweise an sonnigen Talhängen und sind auf eine extensive Nutzung angewiesen, um einer Verbuschung entgegenzuwirken. Gefährdet ist diese Lebensraumeinheit durch Düngung und Bewässerung infolge der Intensivierung der Landwirtschaft. Das *Mesobromion* zeichnet sich durch eine bemerkenswerte floristische Diversität aus und bietet

ebenfalls vielen geschützten Orchideen einen Lebensraum (Delarze et al., 2015). Auf den Dachflächen dieser Lebensraumeinheit sind Zielarten *Anacamptis morio*, *Orchis coriophora*, *O. mascula* und *Ophrys apifera* beabsichtigt.

2.3 Urbane Landwirtschaft

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, wird auf dem Dach des KHK St. Gallen «Urbane Landwirtschaft» in Form von Weinbau betrieben. Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2011) definiert diesen Begriff folgendermassen:

«Urbane Landwirtschaft umfasst professionelle landwirtschaftliche und gartenbauliche Aktivitäten in und am Rande von städtischen Verdichtungsräumen. (Welt-)marktorientierte Landwirtschaft ist in urbanen Räumen ebenso vertreten wie die charakteristische Kombination von einer auf den städtischen Raum ausgerichteten spezialisierten und diversifizierten Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte mit einer Vielzahl landwirtschaftsnaher Dienstleistungen. Städte und ihre Agglomerationsbereiche erfordern eine besonders angepasste Multifunktionalität der Landwirtschaft».

Das KHK liegt am Stadtrand von St. Gallen. Bei Weinbau auf dem Dach kann von einer für den urbanen Raum ausgerichteten sowie spezialisierten Herstellung eines landwirtschaftlichen Produktes ausgegangen werden. Die genannte Definition ist für dieses Projekt entsprechend zutreffend.

2.3.1 Weinbau im urbanen Raum

Weinbau im urbanen Raum ist kein neuzeitliches Phänomen. Im Herzen von Paris im Quartier Montmartre, nur wenige Schritte vom Sacré-Coeur entfernt, wird bereits seit den 1930er Jahren Wein kultiviert. 1933 ist dort mit dem «Clos Montmartre» ein Weingarten geschaffen worden, der auf 0.15 ha 2000 Rebstöcke beherbergte. Heute sind es noch rund 1760 Rebstöcke und insgesamt 30 unterschiedliche Sorten die dort wachsen. Im Jahr 2016 lag er Ernteertrag bei 1950 kg („Vigne de Montmartre“, 2018).

Auch Wien ist bekannt für Weinbau innerhalb des Stadtgebietes. Bereits als Wien noch eine keltische Siedlung war und «Vedunia» hiess, gab es erste Rebkulturen. Heute werden auf einer Fläche von gut 620 Hektaren rund 25'000 Hektoliter Wein gekeltert („Weinbau in Wien“, 2018).

In Köln wird Wein aus Reben an Hauswänden gewonnen. Der «Stadtwinzer» Thomas Eichert hat seit 2010 an 30 Standorten ebenso viele Rebstöcke gepflanzt. Die jeweiligen Hauseigentümer, welche Ihre Südfassade mit einer Rebe durch den «Stadtwinzer» begrünen lassen, werden zu 50% am Ernteertrag beteiligt. Im Jahr 2016 wurden auf diese Weise ungefähr 300 l Wein hergestellt (Eichert Thomas, 2013)

Im Gegensatz zum «klassischen» urbanen Weinbau ist der Weingarten auf dem Dach ein neues Phänomen, das noch in den Kinderschuhen steckt. In New York wurde im Frühjahr 2015 der weltweit erste kommerzielle Weingarten «Rooftop Reds» auf einem Dach im urbanen Raum vorgestellt. Auf einer Dachfläche von fast 1400 m² befinden sich 40 Tröge mit rund 170 Rebstöcken. Als Substrat werden verschiedenen Bodenarten, gemischt mit künstlichem Sand aus recyciertem Glas, verwendet. Geerntet wurde das erste Mal im 2017. Der Ertrag soll bei ungefähr 200 Flaschen liegen (Ahrens, 2018).

In Montréal wurde im Juli 2017 ein ähnliches, wenn auch bedeutend kleineres, Projekt lanciert. Auf dem Dach des Palais des congrès wurden auf etwas mehr als 230 m² 80 Rebstöcke in Geotextil-Containern gepflanzt. Wie beim «Rooftop Red» in New York wurde als Substrat Boden mit gemahlenem Altglas vermischt. Bis zur ersten Weinernte wird es allerdings noch ein paar Jahre dauern (Montreal Convention Center, 2019).

Auch in Paris gibt es ein erstes Projekt, bei welchem Reben auf einem Dachgarten kultiviert werden. Auf dem Dach des Hôtel de Ville ist im Jahr 2015 auf insgesamt 300 m² ein Gemüsegarten angelegt worden. Im Oktober 2016 kamen 110 Rebstöcke dazu (Geerts, 2016). Die ersten Trauben wurden im Herbst 2018 geerntet („Potager de l'Hotel de Ville de Paris - Marie Laurence Cattoire relations presse“, 2018).

Die genannten Weinbau Projekte auf Dächern entstanden alle etwa im Gleichen Zeitraum wie das Duale Dachbegrünungssystem des KHK St. Gallen. Bezüglich der Dimensionierung lässt sich das KHK Projekt mit dem «Rooftop Red» in New York vergleichen. Eine weitere Gemeinsamkeit der Projekte ist die Verwendung von einem Gemisch aus Boden und recyciertem Glas als Substrat für die Reben. Da es sich bei diesen Weinkulturen noch um sehr junge Anlagen handelt, ist es noch ungewiss, ob sie sich auf die Dauer bewähren.

2.3.2 Ansprüche der Reben im Trog

Für die Verankerung und Nährstoffaufnahme der Reben ist ein genügend grosser Wurzelraum essentiell. Um Staunässe und somit ein Absterben der Wurzeln zu verhindern, muss eine Drainageschicht im Trog vorhanden sein. Für die Erziehung der Rebe ist eine Kletterhilfe erforderlich. Eine ausreichende Versorgung mit Wasser sowie Makro- und Mikronährstoffen muss ebenfalls gegeben sein.

Die Tröge auf dem Dach des KHK St. Gallens verfügen über eine Durchwurzelungstiefe von 60 cm. Das Substrat hat eine Mächtigkeit von 25 cm und die ebenfalls durchwurzelbare Sickerschicht 35 cm. Die Tröge besitzen zudem über einen Überlauf. Eine Durchwurzelungstiefe von 60 cm ist ausreichend für eine gute Verankerung der Reben, denn gemäss Currie (1983) befindet sich die Haupt-

wurzelmasse von Reben in einer Bodentiefe von 20-60 cm. Durch die Sickerschicht und den Überlauf wird sichergestellt, dass keine Staunässe entsteht. Eine Kletterhilfe ist in Form eines Drahtgerüsts vorhanden. Ein Bewässerungssystem sorgt für eine ausreichende Wasserzufuhr. Der Versorgungszustand mit Makro- und Mikronährstoffen ist Gegenstand der Resultate und Diskussion dieser Arbeit.

2.3.3 Einfluss der Rebenerziehung auf das Triebwachstum

Reben weisen natürlicherweise ein akrotonisches Austriebs- und Wachstumsmuster auf. Das bedeutet, die apikalen Triebe werden bevorzugt mit Nährstoffen versorgt und weisen somit ein erhöhtes Wachstum auf. Die basalen und mittelständigen Triebe zeigen hingegen eine verminderte Wuchskraft. Dies wird auch als Apikaldominanz bezeichnet (Müller, 1999). Wird die natürliche Wuchsrichtung durch Erziehung verändert, hat dies einen Einfluss auf das Triebwachstum. Bei der Flachbogenerziehung (Abbildung 1) ist die Tragrute horizontal orientiert. Dadurch stellt sich ein abgeschwächtes akrotonisches Wachstumsmuster ein. Das heisst, die basalen und mittelständigen Fruchtriebe unterscheiden im sich Wachstum nicht mehr beträchtlich von den apikalen (Currle, 1983). Oft sind die Fruchtriebe im mittleren Bereich der Tragrute etwas schwächer ausgebildet als die Basalen und Apikalen (Eggenberger & Schweizerischer Verband der Ingenieur-Agronomen und der Lebensmittelingenieure, 1990).

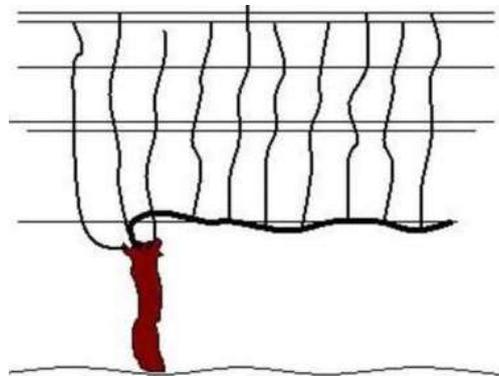


Abbildung 1: Flachbogenerziehung (Quelle: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) 2019)

2.3.4 Wachstumsdepression

Eine Wachstumsdepression in der Landwirtschaft ist ein häufiges Symptom einer Pflanzenkrankheit, welches zu einer verringerten Größe und zu einer verminderten Vitalität der Pflanze führt. Eine solche Wachstumsdepression kann einerseits von Infektionen durch Viren, Bakterien, Pilzen und Nematoden hervorgerufen werden. Andererseits können auch abiotische Ursachen wie ein Mangel oder Überschuss an Wasser, ein Ungleichgewicht bei den Bodennährstoffen, übermässige Lichteinstrahlung, chemische oder mechanische Verletzungen, zu tiefes Einpflanzen sowie Insekten- oder Milbenbefall zu Grunde liegen (Augustyn, Bauer, Duignan & et al., 1998).

3 Material und Methode

3.1 Untersuchungsgebiet

Das KHK St. Gallen, auf welchem das duale Dachbegrünungssystem angelegt wurde, befindet sich im Westen der Stadt im Sittertobel auf rund 584 m.ü.M (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3). St. Gallen liegt in der Klimaregion «Nordöstliches Mittelland», das Klima ist gemässigt warm. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8.3° C, die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge ist mit 1324 mm verhältnismässig hoch („Klimadiagramme und Normwerte pro Station: St. Gallen“, 2016). Die Winterhärtezone wird mit 7b (-15°C bis -12.2°C) angegeben („Switzerland Interactive Plant Hardiness Zone Map“, 2018).



Abbildung 2: Standort KHK St. Gallen, roter Kreis (Quelle: GEOINFO IT AG 2019)



Abbildung 3: Orthofoto Standort KHK St. Gallen, roter Kreis (Quelle: GEOINFO IT AG 2019)

Die Gesamtfläche der Dachbegrünung beträgt 1748 m². Insgesamt wurden auf 15 Teilflächen sieben unterschiedliche Lebensräume geschaffen. Die Abbildung 4 gibt eine Übersicht dieser Flächen und Lebensräume. Die Lebensräume variieren einerseits im Schichtaufbau und der Substratmächtigkeit, andererseits durch die Form der Erstbegrünung und den vorhandenen Lichtverhältnissen auf dem Dach. Die Tabelle 1 fasst die charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Lebensräume zusammen und definiert deren Bezeichnungsabkürzungen. Zudem sind auf dem Dach drei unterschiedliche Arten von Kleinstrukturen geschaffen worden. Einerseits hügelartige Geländeerhöhungen, welche aus dem selben Substrat bestehen wie der Lebensraum auf welchem sie sich befinden. Durch diese Höhenvariation können sich Pflanzen mit unterschiedlichen Ansprüchen an die Substratmächtigkeit etablieren. Andererseits wurden Lesesteinhaufen aus Bollsteinen (Ø 10-25 cm) und Holzstapel aus Holzstämmen (Ø 10-30 cm, Länge 100 cm) erstellt. Die Holzstämmen sind mit Bohrungen für Wildbienen versehen. Die Abbildung 5 zeigt und verortet diese unterschiedlichen Kleinstrukturen.

Tabelle 1: Charakteristische Eigenschaften der Lebensräume

Bezeichnung Lebensraum	Abkürzung	Substrat	Begrünung	Bemerkungen
Magerwiese Wandkies-Oberboden	MW	Wandkies ungewaschen 11 cm Oberboden (A-Horizont) 5 cm	Schnittgutübertrag	partielle Hügelerhöhung
Magerwiese Oberboden	MO	Oberboden (A-Horizont) 15 cm	Schnittgutübertrag	partielle Hügelerhöhung
Magerwiese Unterboden	MU	Unterboden (B/C-Horizont) 15 cm	Schnittgutübertrag	partielle Hügelerhöhung
Orchideenwiese feucht	Of	Oberboden (A-Horizont) 12 cm partiell Speichermatten (ca. 20 m ²)	Schnittgutübertrag + Orchideenpflanzung	
Orchideenwiese trocken	Ot	Oberboden (A-Horizont) 3 cm Wandkies ungewaschen 12 cm	Schnittgutübertrag + Orchideenpflanzung	partielle Hügelerhöhung
Orchideenwiese schattig	Os	Gemisch (50% Wandkies, 50% Oberboden) 4 cm Steinwolle 3 cm	Schnittgutübertrag + Orchideenpflanzung	
"Rebgarten" Magerwiese auf Wandkies	RG	Wandkies ungewaschen 8 cm	Ansaat ZHAW "Extensiv 1"	
Rebtröge	RT	Sandiger Lehm 25 cm Schaumglasschotter 35 cm	gemäss: Abbildung 6	

Bei den Lebensräumen «Magerwiese Wandkies-Oberboden», «Magerwiese Oberboden», «Magerwiese Unterboden» und «Orchideenwiese trocken» wird ein Mitteleuropäischer Halbtrockenrasen (*Mesobromion*) als Lebensraumeinheit nach Delarze et al. (2015) angestrebt. Die Lebensräume «Orchideenwiese feucht» und «Orchideenwiese schattig» sollen sich zu Pfeifengraswiesen (*Molinion*) entwickeln.



Abbildung 4: Lebensräume und Teilflächen (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor)

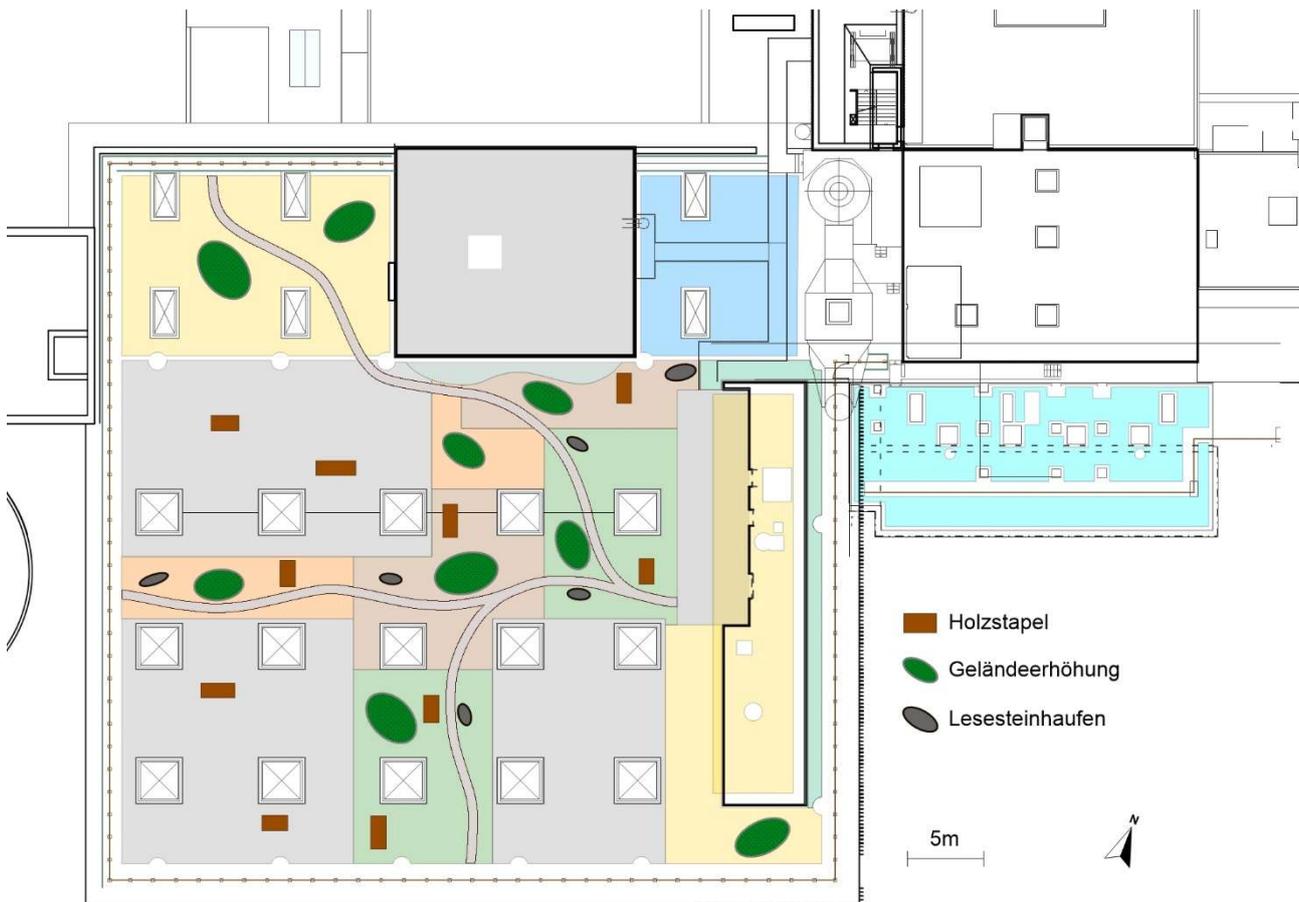


Abbildung 5: Kleinstrukturen (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor)

Auf den Teilflächen des Rebgartens (RG) sind 52 Tröge mit den Dimensionen 210 cm x 60 cm x 70 cm aufgestellt. Jeder Trog besitzt einen Überlauf, welcher an ein Ableitungssystem aus Kunststoffröhren angeschlossen ist. Dadurch wird gewährleistet, dass das nährstoffreiche Überwasser nicht die Magerwiesen auf dem Dach tangiert. Pro Trog sind drei Rebstöcke gepflanzt. Auf dem Dach befinden sich entsprechend 156 Rebstöcke. Für die Bepflanzung der Tröge wurden die PIWI Sorten «Triumph v. Elsass», «Verdelet», «Solaris», «Aurora» und «Excelsior» verwendet. Der Abbildung 6 kann die Anordnung der einzelnen Rebtröge auf der Dachfläche sowie die verwendete Traubensorten je Trog entnommen werden. Der originale Ausführungsplan der Dachgartengestaltung kann dem Anhang I entnommen werden. Ein Portrait zu den einzelnen verwendeten Rebsorten findet sich in Anhang II.

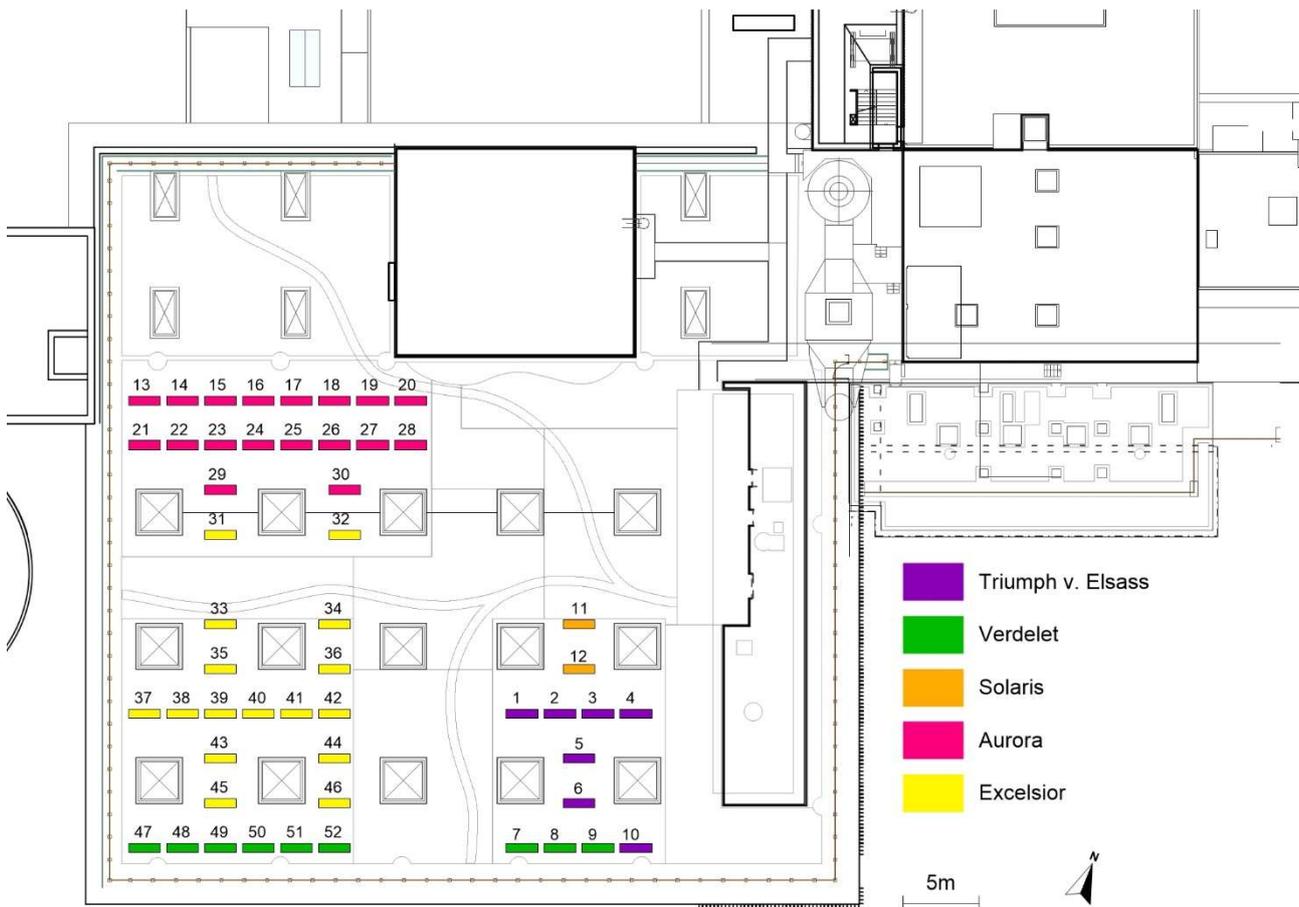


Abbildung 6: Anordnung Rebtröge mit Sortenangabe (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor)

3.2 Substratanalysen

Die für die Substratanalysen notwendigen Substratproben wurden am 20. Juni 2018 entnommen. Die Entnahme erfolgte mittels einer kleinen Schaufel. Bei jedem vorhandenen Lebensraum wurde insgesamt an zehn unterschiedlichen Stellen eine Teilprobe entnommen und diese in einen Zipp-Beutel zu einer Mischprobe zusammengeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Entnahmestellen möglichst gleichmässig über die einzelnen Teilflächen der Lebensräume verteilt sind. Die Entnahmestellen der Substratproben sind in der Abbildung 7 ersichtlich. Vom Substrat der Rebtröge wurde ebenfalls eine Mischprobe gesammelt, indem den Trögen Nr. 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 und 50 eine Teilprobe entnommen wurde. Die gesammelten Proben wurden im Kühlraum auf dem Campus Grüntal bis zu deren Analyse im Labor zwischengelagert.



Abbildung 7: Entnahmestellen Substratproben (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor)

Die Substratanalysen erfolgten im Oktober und November 2018 im Umweltanalytik-Labor der ZHAW auf dem Campus Grüntal. Bei jeder Mischprobe wurde die Leitfähigkeit, der pH-Wert, das C/N-Verhältnis und die Nährstoffgehalte ermittelt. Die Proben wurden zur Vorbereitung während 24 Stunden im Trockenschrank bei 105°C getrocknet und anschliessen mit einem Sieb (Maschenweite 2 mm) gesiebt.

3.2.1 Leitfähigkeit und pH-Wert

Die Leitfähigkeit und der pH-Wert sind durch eine Einfachmessung in wässriger Lösung ermittelt worden. Dazu wurden jeweils 12.0 g der vorbereiteten Substratprobe in 30 ml deionisiertem Wasser aufgeschlämmt und während 30 Minuten 4 Mal geschüttelt und anschliessend weitere 30 Minuten stehen gelassen. Vor der Messung mit der kalibrierten Multisonde wurde die Suspension nochmals kurz aufgerührt. Nach jeder Probe wurden die Sonden mit Reinstwasser gereinigt (Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Agroscope FAL Reckenholz & Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins, 1996a).

3.2.2 C/N-Verhältnis

Um das C/N-Verhältnis zu ermitteln, mussten rund 10 g der getrockneten und gesiebten Proben in einer Kugelmühle gemahlen werden. Danach wurden möglichst genau 0,1 g der gemahlene Proben in eine Zinnfolie eingewogen. Die Messungen sind mit dem TruSpec Macro Analyser vom Hersteller Leco durchgeführt worden. Jede dieser Messungen erfolgte in doppelter Ausführung und daraus wurde der Mittelwert berechnet. Das Endergebnis dieser CHN-Messung ist der Gewichtsanteil der einzelnen Elemente in Prozent. Um den Humusgehalt zu ermitteln, wurde der C_{org} -Gehalt mit dem Faktor 1.7 umgerechnet. Der detaillierte Ablauf der verwendeten Methode ist dem Dokument «SOP-UI1356a» im Anhang III zu entnehmen.

3.2.3 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Der Gesamtgehalt an Nährstoffen wurden mittels Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) am Gerät XEPOS von Spectro ermittelt. Dazu sind 4,0 Gramm der gemahlene Proben mit 0,9 g Fluxana BM-0002-1 Licowax Micropowder und zwei Plexiglaskugeln (\varnothing 1 cm) in 28 ml fassende Flachbodenröhrchen gefüllt und während acht Minuten bei 17 Schwingungen pro Sekunde in der Schwingmühle Retsch MM 400 gemischt worden. Anschliessend wurden die Plexiglaskugeln entfernt und das Proben-Wachs-Gemisch mit der Pillenpresse «Secac Hydraulic Presse 15 Tonnen» zu Presstabletten verarbeitet, welche dann mit der Turboquant Methode analysiert wurden. Von jeder Substratprobe wurden zwei Analysen durchgeführt und für das weitere Vorgehen der jeweilige Mittelwert verwendet. Das genaue Verfahren der Röntgenfluoreszenz-Analyse ist im Dokument «SOP-UI1311c» im Anhang IV zu finden.

3.2.4 Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

Von Kalium, Magnesium und Calcium wurden zusätzlich die pflanzenverfügbaren Nährstoffe (leicht löslichen Nährstoffe) mit einer optischen Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) aus den Substratproben ermittelt. Um diese Messung durchführen zu können, musste vorab ein Wasser-Extrakt der gewünschten Nährstoffe hergestellt werden. Dazu wurden je 10 g der getrockneten und gesiebten Substratproben mit 100 ml demineralisiertem Wasser in eine 200ml Kunststoffflasche gegeben und danach für 60 Minuten auf einer Schüttelmaschine mit 120 Bewegungen in der Minute geschüttelt. Danach wurden die Suspensionen nochmals kräftig von Hand geschüttelt und anschliessend stehen gelassen, bis sich die groben Partikel gesetzt haben. Im Anschluss sind die Suspensionen in einen mit einem Faltenfilter bestückten Trichter geleert worden. Ein Vorlauf von 20 ml wurde jeweils verworfen, die restlichen 80 ml filtriert und als Messlösung verwendet (Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Agroscope FAL Reckenholz & Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins, 1996b). Für die Ermittlung des Kalium Gehaltes wurden 1 ml Extrakt mit 2 ml Reinstwasser und für jene von Magnesium und

Calcium 1 ml Extrakt mit 10 ml Reinstwasser verdünnt. Anschliessend sind die verdünnten Extrakte am ICP-OES gemessen worden. Kalium bei einer Wellenlänge von 766.491 nm, Magnesium bei 285.2 nm und Calcium bei 422.7 nm. (Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Agroscope FAL Reckenholz & Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins, 1996c).

3.2.5 Phosphat Bestimmung mittels Photometrie

Das unter 3.2.4 beschriebene Wasser-Extrakt der einzelnen Substratproben ist ebenfalls für die Phosphatbestimmung mittels Photometrie verwendet worden. Zudem musste ein Kombiniertes Farbreagenz hergestellt werden. Dazu wurden 3 g Amidoschwefelsäure in ca. 30 ml demineralisiertem Wasser gelöst und anschliessend 50 ml Ammoniummolybdat-Schwefelsäure Lösung zugegeben. Die erhaltene Lösung wurde anschliessend im Wasserbad auf 25°C abgekühlt. Danach wurde die abgekühlte Lösung mit demineralisiertem Wasser auf 100 ml ergänzt und sogleich mit 100 ml Ascorbinsäure gemischt.

Für die Phosphat Bestimmung wurden jeweils 10 ml der aus den Substratproben gewonnenen Wasser-Extrakte und 2 ml Farbreagenz in ein Reagenzglas pipettiert gut vermischt. Diese Lösung wurde während 15 Minuten in ein siedendes Wasserbad gestellt und anschliessend beiseite gestellt zum Auskühlen. Die eigentliche Phosphatbestimmung erfolge danach am Photometer bei einer Wellenlänge von 750 nm (Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Agroscope FAL Reckenholz & Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins, 1996d).

3.2.6 Körnung

Die Körnung der Mischproben wurde mithilfe einer Fühlprobe bestimmt. Diese basiert auf einer Vorlage der Bodenkundlichen Gesellschaft Schweiz (Luzern 2010). Durchgeführt wurde die Fühlprobe von Simon Hafner aus der Forschungsgruppe Bodenökologie der ZHAW Wädenswil. Somit konnte der Anteil an Schluff, Ton und Sand jeder Mischprobe ermittelt und somit die Bodenart bestimmt werden. Die Ungenauigkeit pro Fraktion beträgt +/- 5%.

3.2.7 Bodenmatrix

Bei den Substratproben wurde das Verhältnis an Feinerde, Skelett 2-10mm und Skelett > 10mm ermittelt. Dazu wurden die einzelnen Substratproben bei 105° C während 24h getrocknet. Anschliessend wurde das Gesamtgewicht jeder einzelnen Substratprobe ermittelt. Anschliessend wurden diese trocken gesiebt mit den Maschenweiten 10 mm und 2 mm. Das zurückgeblieben Skelett in den Sieben wurde gewogen und prozentual zum Gesamtgewicht bewertet.

3.3 Vegetationsaufnahme

Die Vegetationsaufnahmen auf dem Dach des KHK St. Gallen wurden im Zeitraum vom 22. August 2018 bis zum 4. September 2018 durchgeführt. Als Bestimmungsliteratur wurden Flora Helvetica (Lauber, Wagner & Gygax, 2018), Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz (Binz & Heitz, 1990) und Flora Vegetativa (Eggenberg, Möhl & Wettstein, 2013) verwendet.

Von jedem vorhandenen Lebensraum (LR) wurden zwei Kreisflächen (KF) mit 1 m Durchmesser ($\sim 0.78 \text{ m}^2$) aufgenommen. Dazu wurde ein «Vegetationsring» aus Kunststoff ausgelegt (Abbildung 8). Als Auslegestandorte für die Ringe (Stickprobenpunkte) sind nach dem Zufallsprinzip zwei der zehn Substratproben-Entnahmestellen je Lebensraum ausgewählt worden, indem diese vorgängig, ohne die Situation vor Ort zu kennen, auf dem Ausführungsplan eingezeichnet wurden. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass sich die aufzunehmenden Kreisflächen auf unterschiedlichen Teilflächen des Lebensraums verteilen (Abbildung 9). Innerhalb dieser Kreisflächen wurden alle Gefässpflanzen inklusive Deckungsgrad aufgenommen. Zusätzlich wurde pro Kreisfläche der Deckungsgrad (%) der Gesamtvegetation (Gefässpflanzen), des Moosbewuchses, des offenen Bodens sowie der Gesteinsbedeckung ermittelt. Im Anhang V sind alle Kreisflächen mit Bildern illustriert. Ausserdem wurden auffällige Pflanzen (AP), welche sich ausserhalb dieser aufgenommenen Kreisflächen befanden, zusätzlich, erfasst. Ebenfalls sind alle Pflanzen, die in den Rebtrögen (RT) vorhanden waren, aufgenommen worden. Für die auffälligen Pflanzen (AP) sowie jene der Rebtröge (RT) wurde nur die Präsenz, keine Deckungsgrade, erfasst.



Abbildung 8: Vegetationsring



Abbildung 9: Auslegestandorte Vegetationsringe (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor)

3.4 Vegetationsanalyse mit Vegedaz

Im Programm Vegedaz von KÜCHLER (Version 2017) wurden die Vegetationsaufnahmen erfasst und die Artenzahl sowie der Gesamtdeckungsgrad der Samenpflanzen pro aufgenommenen Kreisfläche und pro Lebensraum (korrespondierende KF 1 und 2) berechnet. Zudem wurden von jeder Kreisfläche und jedem Lebensraum eine Artenliste mit den dazugehörigen Deckungsgraden je Art generiert. Ebenfalls sind die ungewichteten und gewichteten mittleren ökologischen Zeigerwerte (Landolt, Bäumler & Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, 2010) ermittelt worden. Weiter wurde die floristische Ähnlichkeit zwischen beiden aufgenommenen Kreisflächen desselben Lebensraumes (KF 1 und 2) sowie zwischen Kreisflächen unterschiedlicher Lebensräume berechnet. Dazu wurden der Jaccard- wie auch der Van der Maarel-Koeffizient, welcher noch die Deckungsgrade der Arten miteinbezieht, verwendet. Abschliessend wurden im Vegedaz den Vegetationsaufnahmen mit Hilfe des Jaccard-Index den Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. (2015) zugeordnet.

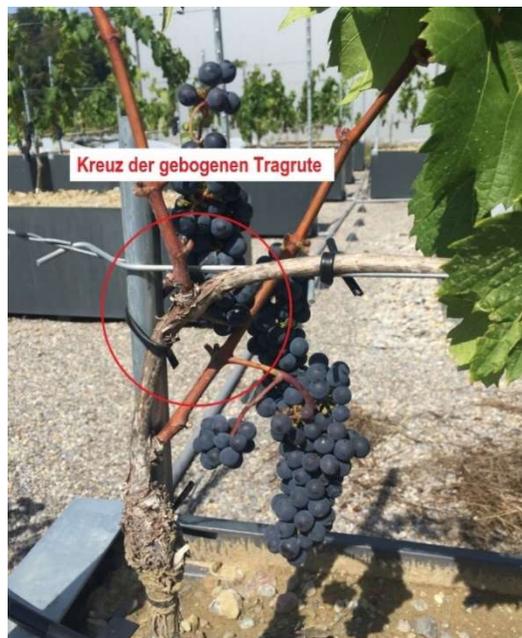
Für die in den Rebtrögen (RT) erfassten Pflanzen sowie den auffälligen Pflanzen ausserhalb der Kreisflächen (AP) wurde, wie bei jenen innerhalb der Kreisflächen, eine Artenliste erstellt, die mittleren Zeigerwerte nach Landolt berechnet und eine Zuordnung nach Delarze et al. (2015) vorgenommen. Aufgrund des fehlenden Deckungsgrades konnten nur die ungewichteten Zeigerwerte berechnet werden.

3.5 Statistische Auswertungen

Die im Vegedaz erarbeiteten Daten wurden anschliessend ins Excel exportiert und dort ergänzt, ausgewertet sowie illustrativ aufgewertet. Zur Darstellung der Resultate wurden Diagramme erstellt. Im Open Source Programm R wurden die ungewichteten und gewichteten Zeigerwerte der einzelnen Lebensräume mittels Kruskal-Wallis Test auf signifikante Unterschiede untersucht und mit Boxplots visualisiert. Dazu wurden die aufgenommenen Kreisflächen 1 und 2 des korrespondierenden Lebensraumes als Stichprobenpunkte definiert. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% ($p\text{-value} = 0.05$) festgelegt. In der Auswertung erhaltenen p -Werte die kleiner sind als 0.05, zeigen einen signifikanten Unterschied. Bei p -Werten grösser als 0.05 besteht kein signifikanter Unterschied. Mit dem Kruskal-Wallis Test kann getestet werden, ob sich die zentralen Tendenzen mehrerer unabhängiger Stichproben unterscheiden. Er stellt keine Voraussetzungen an die vorhandenen Daten (Universität Zürich, 2018).

3.6 Vitalitätsbeurteilung Reben

Für die Vitalitätsbeurteilung der Reben wurde zuerst bei jedem Rebstock gemessen, ob sich ein Fruchttrieb ± 5 cm im Kreuz der gebogenen Tragrute befindet (Abbildung 10). War dies nicht der Fall, wurden der entsprechende Rebstock als wuchsschwach beurteilt (Wuchsdepression) und keine weiteren Messungen vorgenommen. Befand sich ein Fruchttrieb ± 5 cm im Kreuz der gebogenen Tragrute, wurde die Länge aller Fruchttriebe mit einem Doppelmeter vom Triebansatz bis zur Triebspitze hin gemessen. Die Daten wurden in einer Excel-Tabelle notiert. Anschliessend wurde von jedem Rebstock der Median der Triebblängen berechnet. Ausserdem wurde pro Rebensorte der Median der einzelnen Triebe kalkuliert.



Gemäss Markus Hardegger (2019) sind alle Triebe, welche eine Länge $\leq 50\%$ des Medians der Trieblänge des jeweiligen Rebstocks aufweisen, als Kümmertriebe zu bezeichnen und Entsprechend wuchsschwach.

4 Resultate

4.1 Substratanalysen

Dieses Teilkapitel gibt einen Überblick aller erhaltenen Resultate der Laboranalysen der Substratproben, welche im Oktober und November 2018 stattfanden. Die Resultate der Untersuchungen zur Körnung und Bodenmatrix, welche im März 2018 erfolgten, finden sich ebenfalls in diesem Teilkapitel.

4.1.1 Leitfähigkeit und pH-Wert

Für jeden LR sind die pH- und Leitfähigkeitswerte der entsprechenden Substratmischproben festgehalten worden (Diagramm 1 und Diagramm 2). Die Tabelle mit den Rohdaten kann dem Anhang VI entnommen werden.

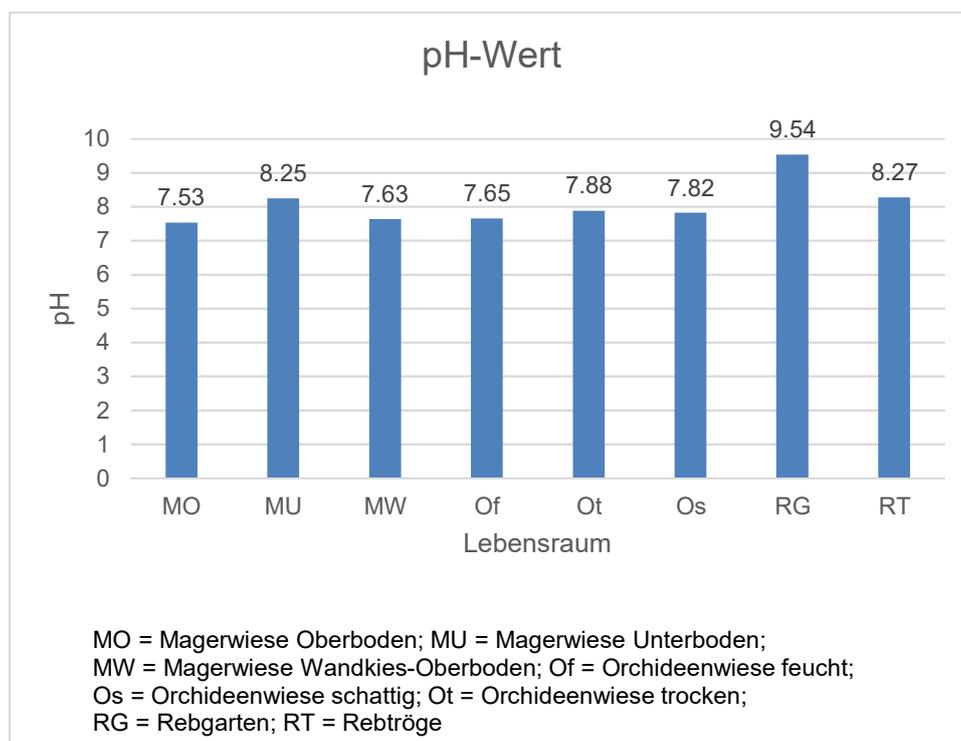


Diagramm 1: pH-Wert pro Lebensraum

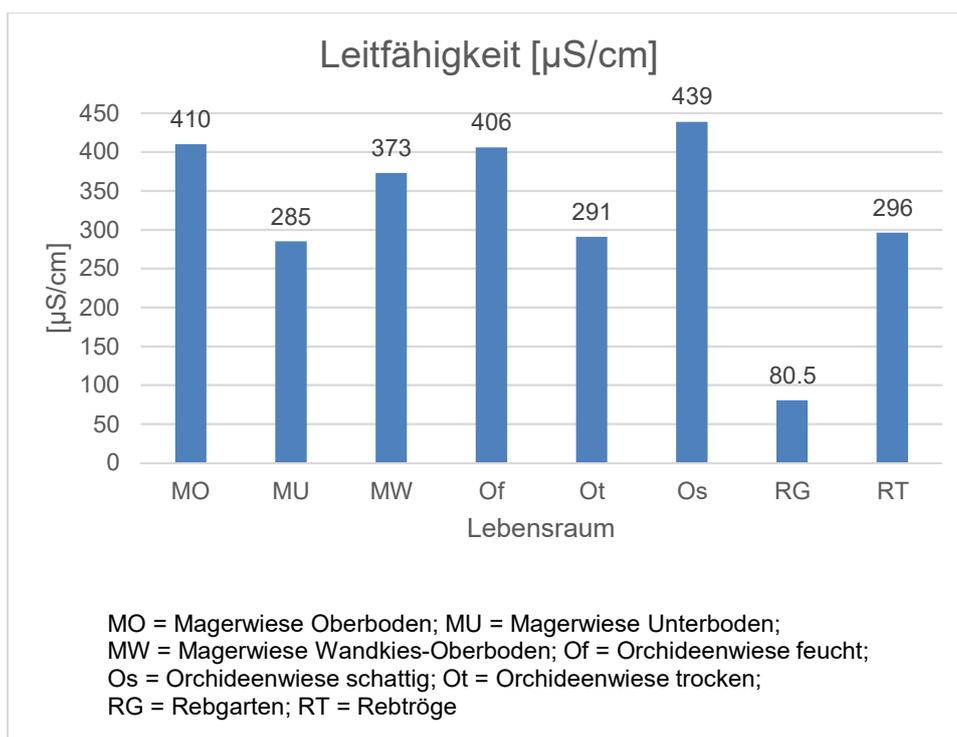


Diagramm 2: Leitfähigkeit pro Lebensraum

4.1.2 C/N-Verhältnis

Um das C/N-Verhältnis zu berechnen, sind die Mittelwerte der Doppelmessungen von Kohlenstoff (C_{org}) und Stickstoff (N) ins Verhältnis gesetzt worden (Tabelle 2). Bei den Stickstoffmessungen welche ein Resultat von $\leq 0.1\%$ ergaben, wurde der Wert 0.1% für alle weiteren Berechnungen verwendet. Das erhaltene C/N-Verhältnis könnte in Folge dessen bei den betroffenen Lebensräumen fehlerhaft sein. Die Resultate sind graphisch im Diagramm 3 dargestellt. Die Tabelle mit den Rohdaten befindet sich im Anhang VII. Aus den erhaltenen C_{org}-Werten wurde, wie im Kapitel Material und Methoden beschrieben, der Humusgehalt berechnet und im Diagramm 4 visualisiert.

Tabelle 2: Mittelwerte Gehalt Kohlenstoff (C_{org}) und Stickstoff (N) pro Lebensraum (LR) in [%]

Lebensraum (LR)	Mittelwert C _{org} [%]	Mittelwert N [%]
Magerwiese Oberboden (MO)	2.50	0.19
Magerwiese Unterboden (MU)	0.54	≤ 0.1
Magerwiese Kies-Oberboden (MW)	1.16	≤ 0.1
Orchideenwiese feucht (Of)	2.35	0.18
Orchideenwiese schattig (Os)	2.24	0.16
Orchideenwiese trocken (Ot)	1.21	≤ 0.1
Rebgarten (RG)	0.26	≤ 0.1
Rebtröge (RT)	0.81	≤ 0.1

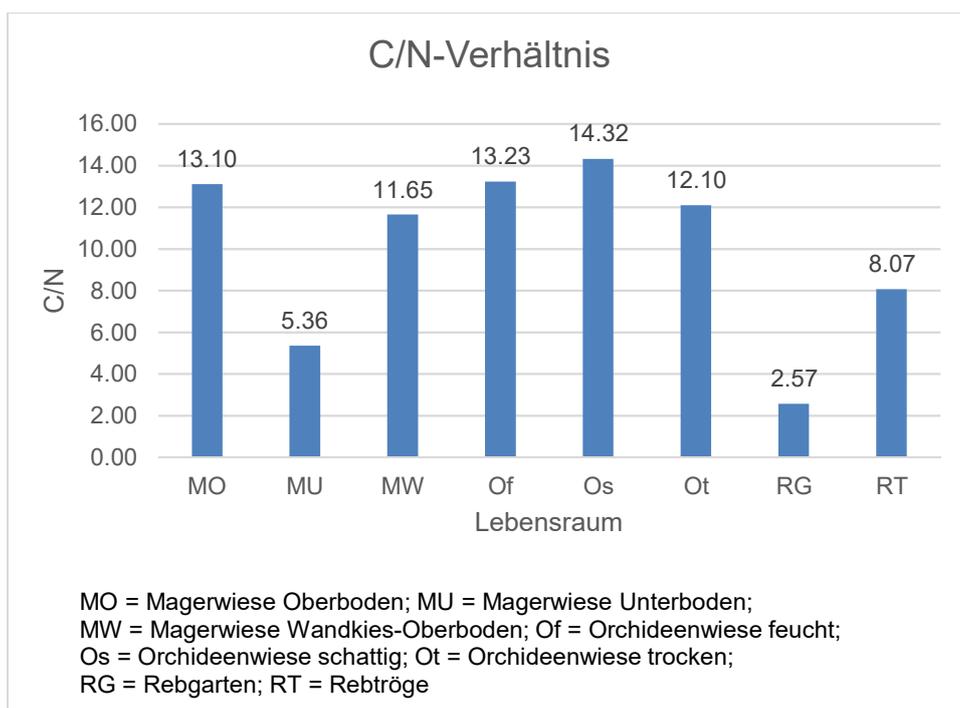


Diagramm 3: C-N-Verhältnis pro Lebensraum

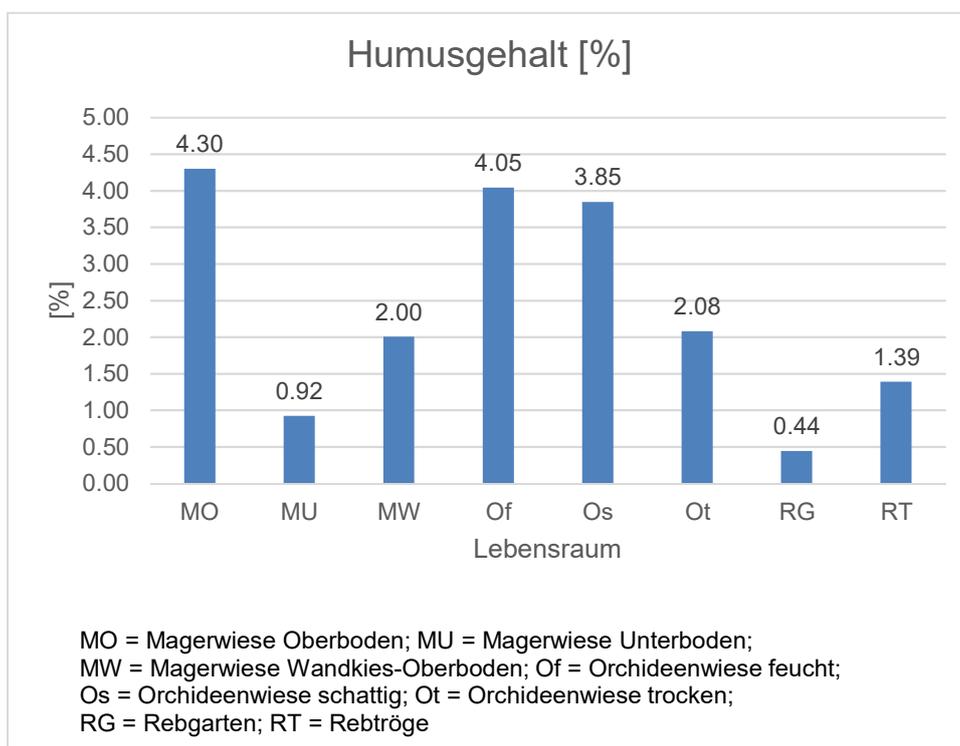


Diagramm 4: Humusgehalt [%] pro Lebensraum

4.1.3 Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)

Von der RFA in die Resultate übernommen wurden die für Pflanzen wichtigen Makronährstoffe Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Schwefel (S), die Mikronährelemente Eisen (Fe), Mangan (Mn), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Zink (Zn) und Chlor (Cl) sowie die drei nützlichen Elemente Silicium (Si), Natrium (Na) und Cobalt (Co). Beim Element Molybdän waren alle Messwerte unter der Nachweis- respektive Bestimmungsgrenze, beim Element Cobalt jene der Lebensräume MW, Ot und RG. Die Mittelwerte der Doppelmessungen sind der Tabelle 3 zu entnehmen, die kompletten Daten der RFA dem Anhang VIII.

Tabelle 3: Mittelwerte Elementgehalte der RFA [mg/kg]. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot), Rebgarten (RG), Rebrträge (RT).
BU: < Bestimmungsgrenze; NU: < Nachweisuntergrenze

Lebensraum	P	K	Mg	Ca	S	Cl	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Mo	Si	Na	Co
MO	2176.5	11530	8405.5	22240	738.6	54.95	24770	799.2	135.9	33.1	46.6	NU	310200	5876	11.5
MU	740.45	10765	14460	102400	278.95	15.2	19810	627.05	75.4	25.8	42.85	NU	230350	4792	9.55
MW	1038	6985	22945	125600	322.05	48.55	14890	576.85	67	18.75	34.9	NU	206600	5254.5	BU
Of	2162.5	12285	8503.5	19765	620.2	35.25	24025	929.8	133.15	32.25	44.85	NU	314750	6975	7.45
Os	1314.5	12670	16290	58080	594.9	85.3	25465	1132	109.6	34.8	56.6	BU	244850	5250.5	14.4
Ot	1018	6980.5	22570	124900	321.95	55.1	14545	592.9	68.7	19.15	34.35	NU	210800	5103.5	BU
RG	256.85	2983.5	37955	214150	94.85	44.85	6772.5	329.45	23.2	7.7	23.45	NU	118600	5435.5	BU
RT	810.05	10585	15815	117500	312.15	7.8	21205	684.1	85.75	24.25	46.25	NU	209800	5628.5	17.95

4.1.4 Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

Die Mittelwerte der Doppelbestimmung variieren beim Element Kalium (K) zwischen 14.8 und 51.7 mg pro kg Boden, beim Element Calcium (Ca) zwischen 104.7 und 357.3 mg pro kg Boden und beim Element Magnesium (Mg) zwischen 10.8 und 30.5 mg pro kg Boden. Die nachfolgenden Diagramme (Diagramm 5 bis Diagramm 7) visualisieren die erhaltenen Resultate der ICP-OES.

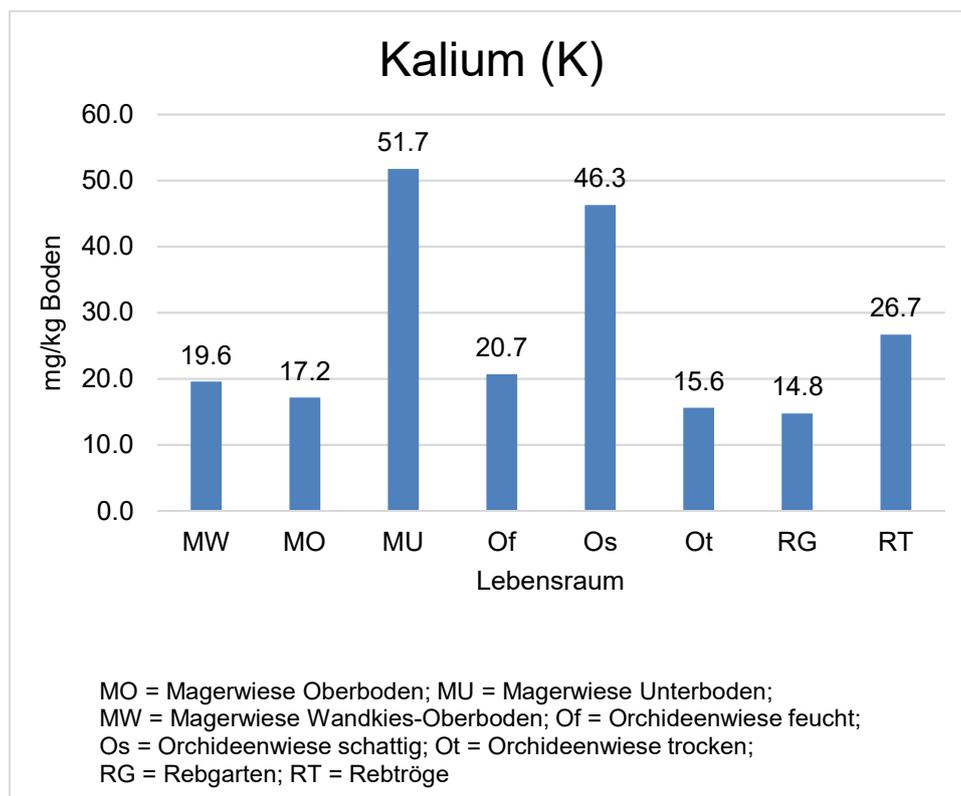


Diagramm 5: Kalium [mg/kg Boden] pro Lebensraum

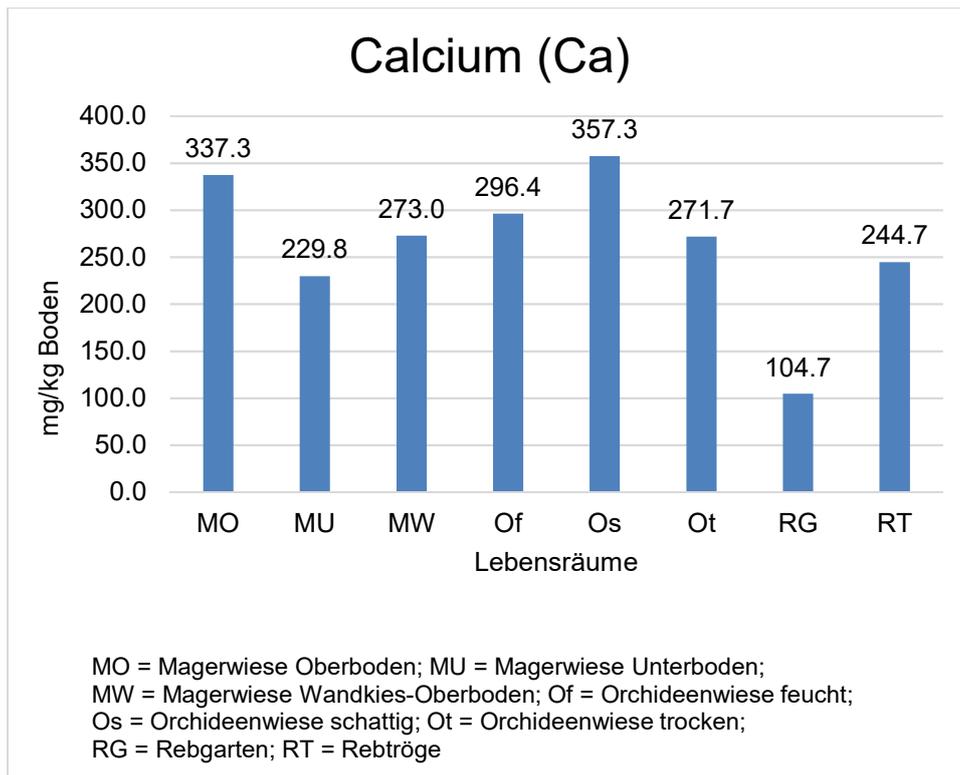


Diagramm 6: Calcium [mg/kg Boden] pro Lebensraum

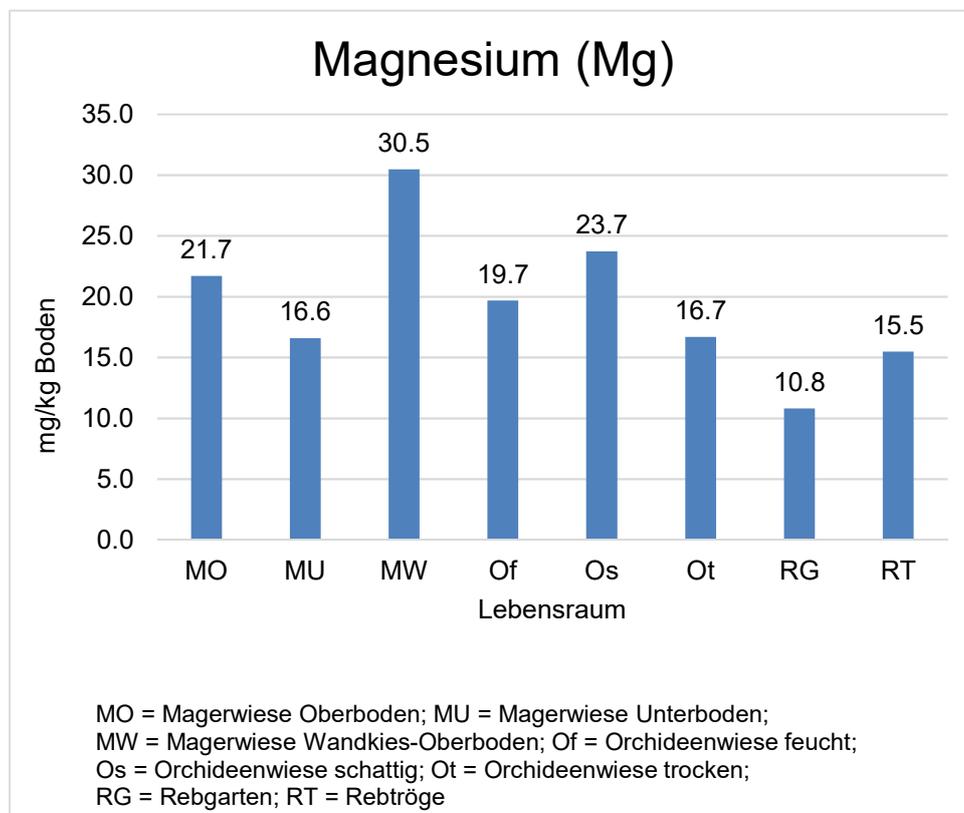


Diagramm 7: Magnesium [mg/kg Boden] pro Lebensraum

4.1.5 Phosphat Bestimmung mittels Photometrie

Die Phosphor-Werte reichen von 0.1 mg/kg bis 6.9 mg/kg Boden. Die Resultate jedes einzelnen Lebensraumes sind in dem Diagramm 8 visualisiert.

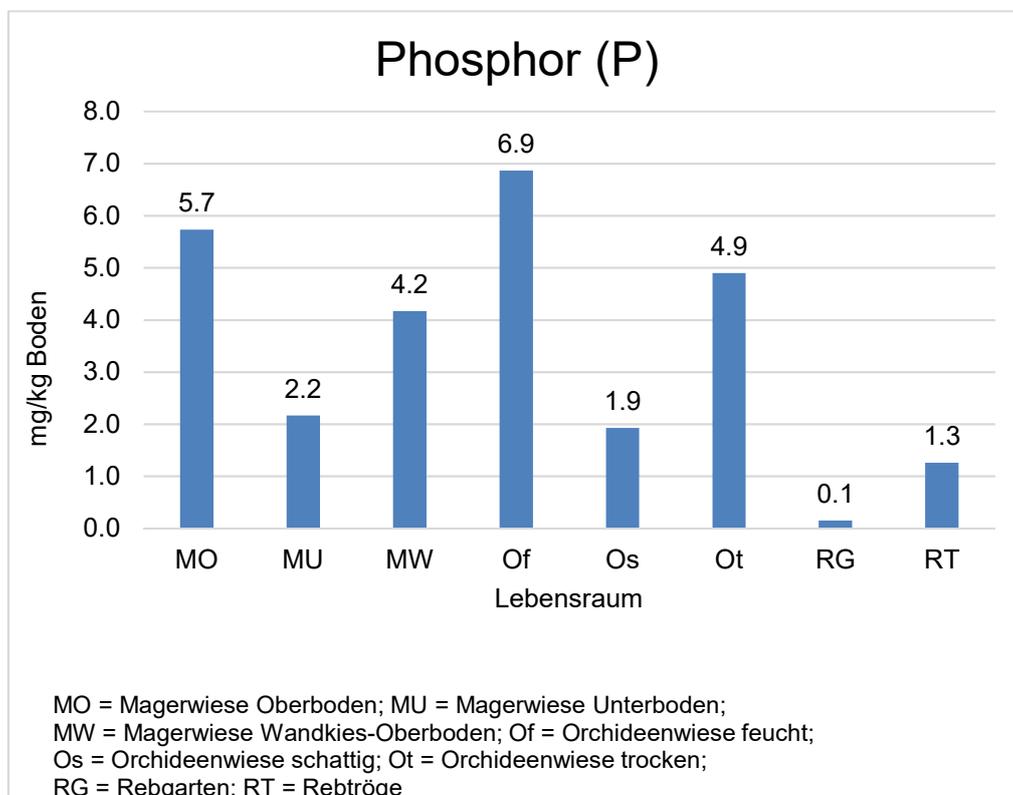


Diagramm 8: Phosphor [mg/kg Boden] pro Lebensraum

4.1.6 Körnung

Die bei der Fühlprobe ermittelten Korngrößenverteilungen der Substratproben sowie die daraus abgeleiteten Bodentypen sind in der nachfolgenden Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Korngrößenverteilung und Bodentyp pro Lebensraum

Lebensraum	Bodentyp	Anteil Ton [%]	Anteil Schluff [%]	Anteil Sand [%]
Magerwiese Oberboden	Lehm	20-25	35-40	35-45
Magerwiese Unterboden	sandiger Lehm	20-25	35	40-45
Magerwiese Kies-Oberboden	lehmreicher Sand	10-15	30	55-60
Orchideenwiese feucht	Lehm	25	35	40
Orchideenwiese schattig	lehmiger Schluff	25	55	20
Orchideenwiese trocken	sandiger Lehm	15-20	40	40-45
Rebgarten	Sand	0-5	0-15	80-100
Rebtröge	Lehm	25-30	35	35-40

4.1.7 Bodenmatrix

Der Anteil an Feinerde liegt je nach Lebensraum zwischen 42.1% und 93.8%. Das Skelet >10 mm macht mit 0%-17.7% nur einen kleinen Anteil der Gesamtmasse aus. Der Skeletanteil 2-10 mm variiert mit 4.9% bis 40.2% je nach Lebensraum sehr stark. Die Gesamtheit der ermittelten Werte ist den untenstehenden Diagrammen (Diagramm 9 bis Diagramm 16) zu entnehmen.

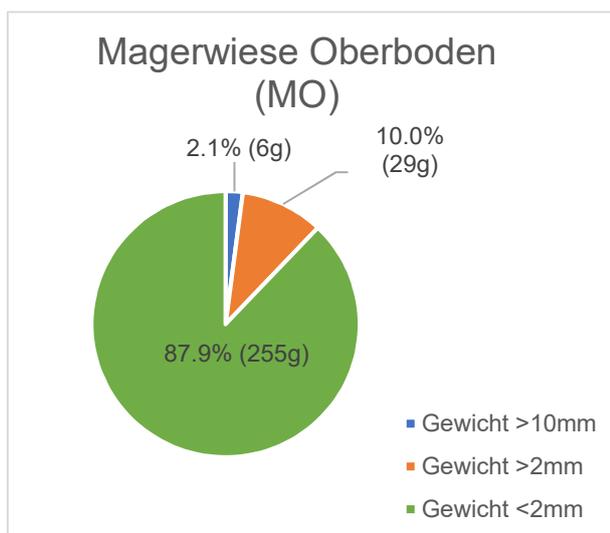


Diagramm 9: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Magerwiese Oberboden

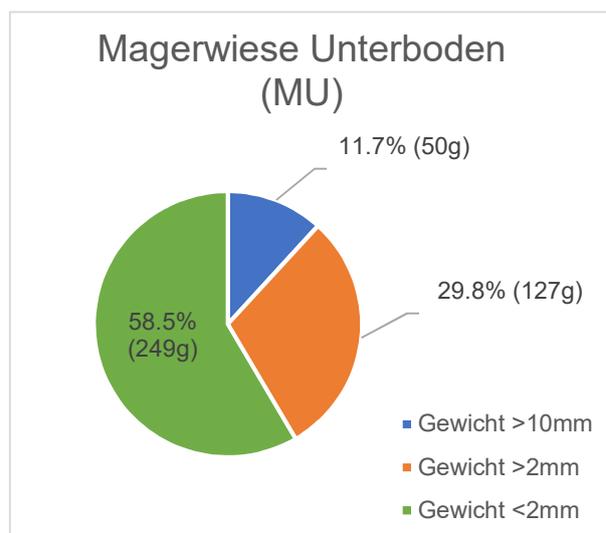


Diagramm 10: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Magerwiese Unterboden

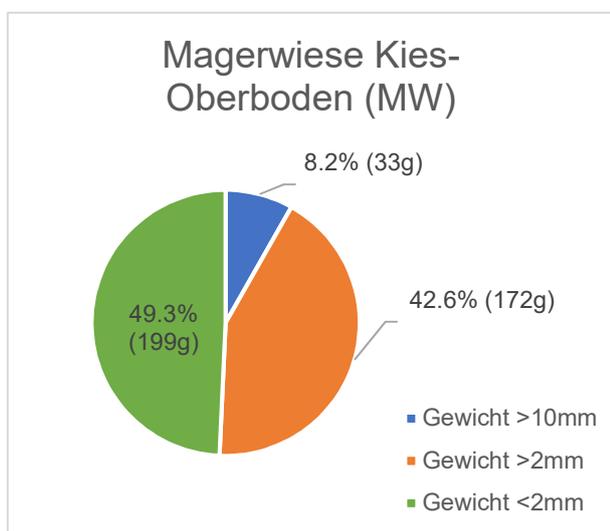


Diagramm 11: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Magerwiese Kies-Oberboden

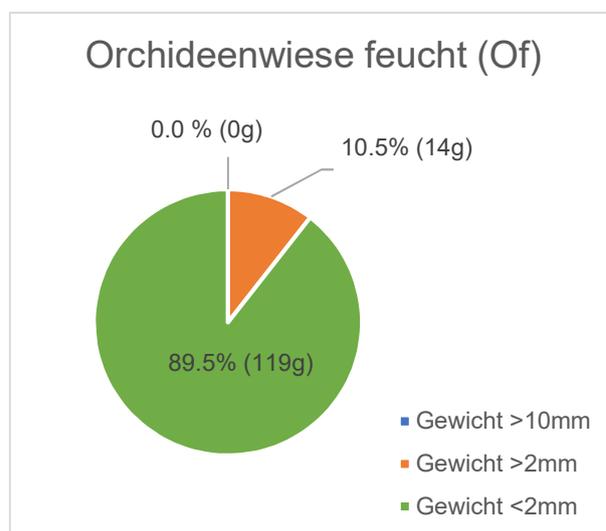


Diagramm 12: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Orchideenwiese feucht

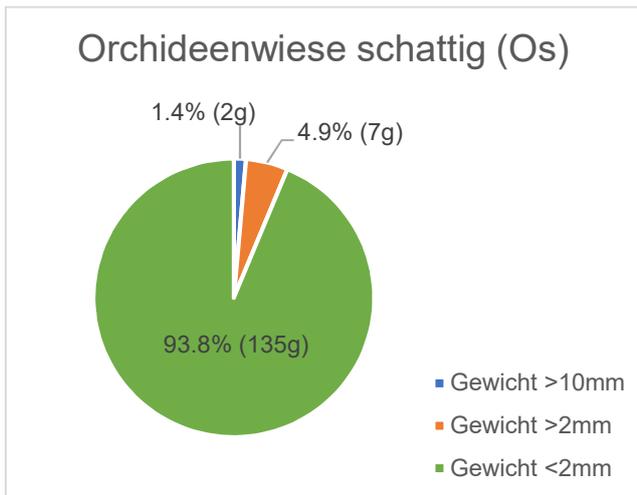


Diagramm 13: Anteil Feinerde und Skelett
 Lebensraum Orchideenwiese schattig

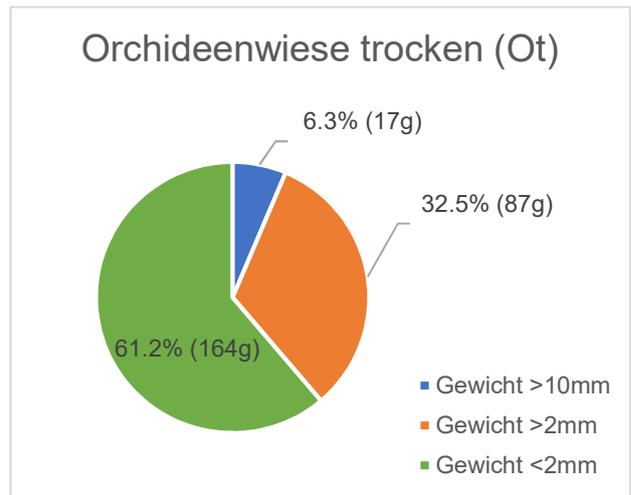


Diagramm 14: Anteil Feinerde und Skelett
 Lebensraum Orchideenwiese trocken

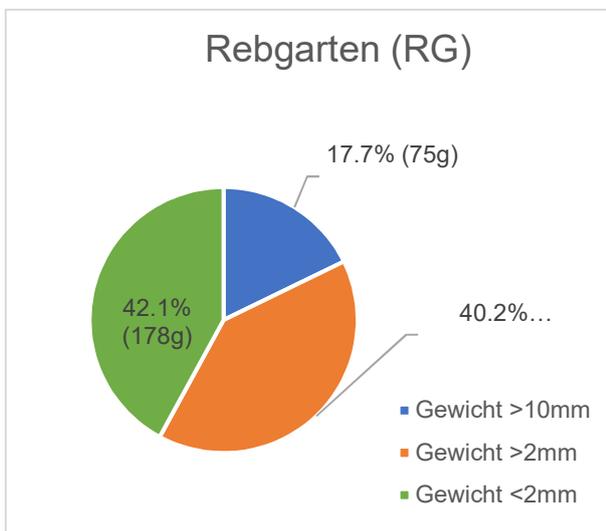


Diagramm 15: Anteil Feinerde und Skelett
 Lebensraum Rebgarten

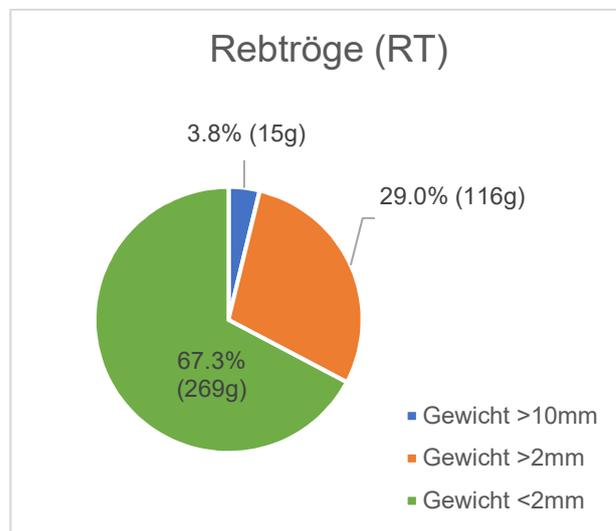


Diagramm 16: Anteil Feinerde und Skelett
 Lebensraum Rebtröge

4.2 Vegetationsanalyse mit Vegedaz

Bei den Vegetationsaufnahmen wurden innerhalb der 14 aufgenommenen Kreisflächen (KF) total 29 Arten erfasst. Werden die auffälligen Pflanzen ausserhalb der Kreisflächen (AP) sowie die Pflanzen die in den Rebtrögen (RT) addiert, sind in insgesamt 45 Arten aufgenommen worden (siehe Tabelle 5). Bilder zu einer Auswahl der aufgenommenen Arten befinden sich im Anhang IX. Der Gesamtdeckungsgrad der Vegetation und die fünf häufigsten Arten inklusive Deckungsgrad für jede aufgenommene Kreisfläche sind in der Tabelle 6 ersichtlich. Einige Individuen konnten nicht auf Art-Ebene bestimmt werden, dazu gehören Vertreter der Familien *Cyperaceae* und *Juncaceae* sowie der Gattungen *Poa*, *Trifolium* und *Lamium*. Pro Aufnahme (Kreisfläche 0.78 m²) waren zwischen 0 und 11 Arten vorhanden. Der Gesamtdeckungsgrad der Gefässpflanzen variierte je nach Aufnahme zwischen 0% (RG 1) und 95% (MO 1 und 2). Der Deckungsgrad des Moosbewuchses der einzelnen aufgenommenen Kreisflächen liegt zwischen 0% und 85%, jener des offenen Bodens zwischen 0% und 55% und jener der mit Steinen bedeckten Fläche zwischen 0 und 100%. Aufgrund der Tatsache, dass bei der Kreisfläche «RG 1» kein Arte und bei der Kreisfläche «RG 2» nur eine Art gefunden wurde, sind diese bei der Zuordnung der mittleren Zeigerwerte nach Landolt et al. (2010) sowie den Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. (2015) vernachlässigt worden, denn sie wären nicht aussagekräftig. Die Gesamtheit der erfassten Daten inklusive den Artenlisten zu den einzelnen Kreisflächen, Lebensräume, Rebtrögen (RT) sowie den auffälligen Pflanzen ausserhalb der Kreisflächen (AP) sind in Anhang X zu finden.

Tabelle 5: Gesamtliste aller erfassten Gefässpflanzen auf dem Dach des KHK St. Gallen

Liste aller erfassten Arten		
Lateinischer Name	Deutsch	Familie
<i>Aethusa cynapium</i> L.	Hundspetersilie	Apiaceae
<i>Amaranthus hybridus</i> aggr.	Ausgebreiteter Fuchsschwanz	Amaranthaceae
<i>Anagallis arvensis</i> L.	Acker-Gauchheil	Primulaceae
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.	Zaunwinde	Convolvulaceae
<i>Chenopodium album</i> L.	Weisser Gänsefuss	Amaranthaceae
<i>Chenopodium polyspermum</i> L.	Vielsamiger Gänsefuss	Amaranthaceae
<i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop.	Kohldistel	Asteraceae
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	Lanzettblättrige Kratzdistel	Asteraceae
<i>Crepis capillaris</i> Wallr.	Kleinköpfiger Pippau	Asteraceae
Cyperaceae spec.	Sauergräsergewächse	Cyperaceae
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Bluthirse, Blutrote Fingerhirse	Poaceae
<i>Echinochloa crus-galli</i> aggr.	Hühnerhirse	Poaceae
<i>Erigeron canadensis</i> L.	Kanadisches Berufkraut	Asteraceae
<i>Euphorbia lathyris</i> L.	Kreuzblättrige Wolfsmilch	Euphorbiaceae
<i>Galeopsis tetrahit</i> aggr.	Gemeiner Hohlzahn	Lamiaceae
<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pavon	Borstenhaariges Knopfkraut	Asteraceae
<i>Galium mollugo</i> L.	Gemeines Labkraut	Rubiaceae
Juncaceae spec.	Binsengewächse	Juncaceae
<i>Lamium purpureum</i> L.	Acker-Taubnessel	Lamiaceae
<i>Lamium</i> spec.	Taubnessel	Lamiaceae
<i>Lolium perenne</i> L.	Englisches Raigras	Poaceae
<i>Lotus corniculatus</i> aggr.	Hornklee, Wiesen-Hornklee	Fabaceae
<i>Lythrum salicaria</i> L.	Blut-Weiderich	Lythraceae
<i>Medicago lupulina</i> L.	Hopfenklee	Fabaceae
<i>Nigella damascena</i> L.	Damaszener Schwarzkümmel	Ranunculaceae
<i>Oxalis acetosella</i> L.	Gemeiner Sauerklee, Kuckucksklee	Oxalidaceae
<i>Oxalis corniculata</i> L.	Hornfrüchtiger Sauerklee	Oxalidaceae
<i>Panicum riparium</i> H. Scholz	Ufer-Hirse	Poaceae
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Spitz-Wegerich	Plantaginaceae
<i>Plantago major</i> aggr.	Grosser Wegerich	Plantaginaceae
<i>Poa</i> spec.	Rispengräser	Poaceae
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Vogel-Knöterich	Polygonaceae
<i>Polygonum lapathifolium</i> aggr.	Ampferblättriger Knöterich	Polygonaceae
<i>Ranunculus acris</i> aggr.	Scharfer Hahnenfuss	Ranunculaceae
<i>Rumex obtusifolius</i> L.	Stumpfbältriger Ampfer	Polygonaceae
<i>Sedum album</i> L.	Weisser Mauerpfeffer	Crassulaceae
<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult.	Graugrüne Borstenhirse	Poaceae
<i>Sisymbrium officinale</i> (L.) Scop.	Weg-Rauke	Brassicaceae
<i>Sonchus arvensis</i> aggr.	Acker-Gänsedistel	Asteraceae
<i>Taraxacum officinale</i> aggr.	Kuhblume, Löwenzahn, Pfaffenröhrlin	Asteraceae
<i>Trifolium pratense</i> aggr.	Gewöhnlicher Rot-Klee	Fabaceae
<i>Trifolium</i> spec.	Klee	Fabaceae
<i>Verbascum thapsus</i> aggr.	Kleinblütiges Wollkraut	Scrophulariaceae
<i>Verbena officinalis</i> L.	Eisenkraut	Verbenaceae
<i>Veronica polita</i> Fr.	Glänzender Ehrenpreis	Plantaginaceae

Tabelle 6: Gesamtdeckungsgrad der Vegetation und die fünf häufigsten Arten inklusive deren Deckungsgrad je aufgenommenener Kreisfläche

Magerwiese Kies-Oberboden 1		Magerwiese Kies-Oberboden 2	
Deckungsgrad Vegetation [%]	90	Deckungsgrad Vegetation [%]	50
Art mit Deckungsgrad [%]		Art mit Deckungsgrad [%]	
Panicum riparium H. Scholz	75	Panicum riparium H. Scholz	25
Digitaria sanguinalis (L.) Scop.	5	Chenopodium album L.	10
Plantago lanceolata L.	5	Sonchus arvensis aggr.	10
Lamium spec.	4	Plantago lanceolata L.	5
Sonchus arvensis aggr.	1		
Magerwiese Oberboden 1		Magerwiese Oberboden 2	
Deckungsgrad Vegetation [%]	95	Deckungsgrad Vegetation [%]	95
Art mit Deckungsgrad [%]		Art mit Deckungsgrad [%]	
Digitaria sanguinalis (L.) Scop.	85	Digitaria sanguinalis (L.) Scop.	40
Plantago lanceolata L.	5	Plantago lanceolata L.	20
Plantago major aggr.	1	Taraxacum officinale aggr.	20
Taraxacum officinale aggr.	1	Galium mollugo L.	5
Cyperaceae spec.	1	Poa spec.	3
Magerwiese Unterboden 1		Magerwiese Unterboden 2	
Deckungsgrad Vegetation [%]	55	Deckungsgrad Vegetation [%]	65
Art mit Deckungsgrad [%]		Art mit Deckungsgrad [%]	
Plantago lanceolata L.	15	Digitaria sanguinalis (L.) Scop.	45
Taraxacum officinale aggr.	12	Polygonum lapathifolium aggr.	5
Panicum riparium H. Scholz	5	Verbascum thapsus aggr.	5
Verbascum thapsus aggr.	3	Poa spec.	5
Trifolium pratense aggr.	2	Sonchus arvensis aggr.	2
Orchideenweise feucht 1		Orchideenweise feucht 2	
Deckungsgrad Vegetation [%]	70	Deckungsgrad Vegetation [%]	80
Art mit Deckungsgrad [%]		Art mit Deckungsgrad [%]	
Digitaria sanguinalis (L.) Scop.	30	Plantago lanceolata L.	25
Taraxacum officinale aggr.	15	Rumex obtusifolius L.	15
Panicum riparium H. Scholz	8	Panicum riparium H. Scholz	10
Oxalis acetosella L.	5	Trifolium pratense aggr.	10
Trifolium pratense aggr.	5	Plantago major aggr.	5
Orchideenweise schattig 1		Orchideenweise schattig 2	
Deckungsgrad Vegetation [%]	60	Deckungsgrad Vegetation [%]	35
Art mit Deckungsgrad [%]		Art mit Deckungsgrad [%]	
Setaria pumila Roem. & Schult.	30	Panicum riparium H. Scholz	10
Polygonum lapathifolium aggr.	10	Galium mollugo L.	5
Panicum riparium H. Scholz	5	Sonchus arvensis aggr.	5
Trifolium spec.	5	Plantago lanceolata L.	3
Plantago major aggr.	3	Polygonum lapathifolium aggr.	3
Orchideenweise trocken 1		Orchideenweise trocken 2	
Deckungsgrad Vegetation [%]	5	Deckungsgrad Vegetation [%]	5
Art mit Deckungsgrad [%]		Art mit Deckungsgrad [%]	
Panicum riparium H. Scholz	2	Panicum riparium H. Scholz	2
Sonchus arvensis aggr.	2	Sonchus arvensis aggr.	2
Chenopodium album L.	1	Chenopodium album L.	1

4.2.1 Zeigerwerte Kreisflächen

Die ungewichteten und gewichteten Zeigerwerte nach Landolt et al. (2010) sind für die aufgenommenen Kreisflächen (KF) in der Tabelle 7 aufzeigt. Die Legende zu den Zeigewerten ist dem Anhang XI zu entnehmen.

Tabelle 7: Zeigerwerte pro aufgenommene Kreisfläche (KF). Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot).

Kreisfläche (KF)	MO 1	MO 2	MU 1	MU 2	MW 1	MW 2	Of 1	Of 2	Os 1	Os 2	Ot 1	Ot 2
Artenzahl	6	7	10	6	5	4	8	9	11	11	3	3
Temperaturzahl	3.5	3.5	3.6	3.6	3.8	3.5	3.4	3.5	3.8	3.6	3.7	3.7
gew. Temperaturzahl	3.9	3.6	3.3	3.9	3.9	3.7	3.8	3.4	3.9	3.7	3.8	3.8
Kontinentalitätszahl	3.0	2.6	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	2.7	3.0	2.8	3.0	3.0
gew. Kontinentalitätszahl	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.8	3.7	2.8	3.0	3.0
Lichtzahl	4.0	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.5	3.8	4.0	3.8	3.7	3.7
gew. Lichtzahl	4.0	3.9	3.9	4.0	4.0	3.8	3.8	4.0	4.0	3.7	3.6	3.6
Feuchtezahl	2.8	2.9	3.1	2.8	3.0	2.9	2.9	3.1	2.9	3.0	3.0	3.0
gew. Feuchtezahl	2.5	2.6	2.8	2.6	3.4	3.1	2.8	2.9	2.6	3.2	3.2	3.2
Reaktionszahl	3.0	3.0	3.1	3.2	3.3	3.3	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.3
gew. Reaktionszahl	3.0	3.0	3.1	3.0	3.0	3.2	2.9	3.0	3.0	3.2	3.4	3.4
Nährstoffzahl	3.7	4.0	3.7	3.8	3.8	3.8	3.3	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0
gew. Nährstoffzahl	4.0	3.7	3.4	4.0	3.9	3.9	3.6	3.7	4.0	3.9	4.0	4.0

Bei den ungewichteten Zeigerwerten aller aufgenommenen Kreisflächen 1 und 2 lagen die Werte «Temperaturzahl» und «Kontinentalitätszahl» mit einer maximalen Abweichung von 0.75 nahe beieinander, was bedeutet, dass vorwiegend Arten aus der unter-montan bis ober-kollin Höhenstufe und Pflanzen mit einer Verbreitung ausserhalb sehr kontinentaler Gegenden vorhanden waren. Die Werte bei der Lichtzahl (L) lagen zwischen 3.5 und 4.0, was bedeutet, es kamen Halbschatten- bis Lichtzeiger vor, mit Tendenz zu Lichtzeigern. Die Feuchtezahl-Werte (F) lagen zwischen 2.8 bis 3.1, was auf mässig trockene bis feuchte Böden schliessen lässt. Die Werte der Reaktionszahl (R) befanden sich zwischen 2.9 und 3.3, was auf schwach saure bis neutrale Bodenverhältnisse hinweist. Die Nährstoffzahl (N) lag zwischen 3.3 und 4.0. Somit kann von mässig nährstoffreichen bis nährstoffreichen Standorten ausgegangen werden. Die gewichteten Zeigerwerte unterscheiden sich nicht merklich von den ungewichteten. Nur bei der Feuchtezahl (F) wiesen die gewichteten Zeigerwerte, welche zwischen 2.5 und 3.4 lagen, ein deutlich breiteres Spektrum auf, welches von trocken bis sehr feucht reichte.

4.2.2 Zeigerwerte Lebensräume

Die ungewichteten und gewichteten Zeigerwerte nach Landolt et al. (2010) für die vorhandenen Lebensräume (korrespondierende Kreisflächen 1 und 2 zusammengefasst) sind in der Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Zeigerwerte pro Lebensraum. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot)

Lebensraum	MO	MU	MW	Of	Os	Ot
Artenzahl	9	13	6	11	16	3
Temperaturzahl	3.5	3.6	3.6	3.4	3.7	3.7
gew. Temperaturzahl	3.8	3.7	3.9	3.6	3.8	3.8
Kontinentalitätszahl	2.7	2.9	3.0	2.8	2.9	3.0
gew. Kontinentalitätszahl	3.0	3.0	3.0	2.9	3.3	3.0
Lichtzahl	3.9	3.8	3.8	3.6	3.9	3.7
gew. Lichtzahl	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.6
Feuchtezahl	3.0	3.1	2.8	3.1	3.0	3.0
gew. Feuchtezahl	2.6	2.7	3.3	2.9	2.8	3.2
Reaktionszahl	3.0	3.1	3.2	2.9	3.2	3.3
gew. Reaktionszahl	3.0	3.1	3.1	3.0	3.1	3.4
Nährstoffzahl	4.0	3.8	3.8	3.7	3.8	4.0
gew. Nährstoffzahl	3.9	3.8	3.9	3.7	4.0	4.0

Bei den ungewichteten Zeigerwerten reicht die Temperaturzahl von 3.4 bis 3.7, also von ober-kollin bis unter-montan. Die Kontinentalitätszahl liegt zwischen 2.7 und 3 und entspricht Pflanzen mit einer Verbreitung ausserhalb sehr kontinentaler Gegenden. Die Werte der Lichtzahl (3.6-3.9) zeigt eine

Tendenz für Pflanzen die gerne in vollem Licht sind, aber auch mit geringer Beschattung zurechtkommen. Die Werte der Feuchtezahl liegen alle annähernd bei 3, was auf mässig trockene bis feuchte Böden hinweist. Die Reaktionszahlen befinden sich alle im Bereich von 3, was auf Pflanzen mit Vorlieben für schwach saure, über neutrale bis leicht basische Böden hinweist. Die Nährstoffzahlen-Werte reichen von 3.7 bis 4 und entsprechen Pflanzen mit einer Hauptverbreitung auf nährstoffreichen Böden, sogenannte Nährstoffzeiger.

Die statistischen Auswertungen gemäss Absatz 3.5 ergaben sowohl für die gewichteten wie auch für ungewichteten Zeigerwerte nach Landolt et al. (2010) keine signifikanten Unterschiede (Signifikanz-Niveau 95 %) zwischen den einzelnen Lebensräumen. Die Boxplots der Kruskal Wallis-Tests zu einzelnen gewichteten und ungewichteten Zeigerwerte sind im Anhang XII ersichtlich.

4.2.3 Zeigerwerte auffällige Pflanzen (AP)

Bei den Lebensräumen Os, MO, MU und MW waren auffälligen Pflanzen ausserhalb der Kreisflächen vorhanden. Die entsprechenden ungewichteten Zeigerwerte sind in den Tabelle 9 zu finden.

Tabelle 9: Zeigerwerte auffällige Pflanzen ausserhalb Kreisflächen (AP). Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese schattig (Os)

Lebensraum	MO	MU	MW	Os
Artenzahl	3	4	7	4
Temperaturzahl	3.7	3.8	3.7	3.8
Kontinentalitätszahl	3.0	3.0	3.3	2.5
Lichtzahl	3.7	3.8	4.0	3.3
Feuchtezahl	3.5	2.6	2.8	2.8
Reaktionszahl	3.3	3.8	3.3	3.7
Nährstoffzahl	3.7	3.5	4.0	3.7

Die Werte der Temperaturzahl liegen im Bereich von 3.7 und 3.8, also von ober-kollin bis kollin. Die Kontinentalitätszahl deutet mit Werten von 2.5 bis 3.3 auf Pflanzen hin, die eher milde bis mässig tiefe Wintertemperaturen bevorzugen. Die Werte der Lichtzahl (3.3-4.0) variieren zwischen Pflanzen die gerne im Halbschatten aufwachsen (Os) und solchen, die volles Licht bevorzugen (MU). Die Feuchtezahl-Werte reichen von frischen (2.6) bis feuchten (3.5) Böden. Die Reaktionszahlen liegen im leicht sauren (3.3) bis neutralen (3.8) Bereich. Die erhaltenen Nährstoffzahlen von 3.5-4.0 weisen auf mässig nährstoffreiche bis nährstoffreiche Böden hin.

4.2.4 Zeigerwerte Pflanzen in Rebtrögen (RT)

Die untenstehende Tabelle 10 zeigt die ungewichteten Zeigerwerte der Pflanzen welche in den Rebtrögen (RT) aufgenommen wurden.

Tabelle 10: Zeigerwerte Pflanzen in Rebtrögen (RT)

Lebensraum	RT
Artenzahl	14
Temperaturzahl	3.7
Kontinentalitätszahl	2.9
Lichtzahl	3.8
Feuchtezahl	3.0
Reaktionszahl	3.6
Nährstoffzahl	3.8

Die Temperaturzahl von 3.7 deutet auf Pflanzen mit einer Verbreitung im kollinen bis ober-kollinen Stufe hin. Die Kontinentalitätszahl von 2.9 steht für Pflanzen mit einer Verbreitung in Gegenden mit subozeanischem bis subkontinentalem Klima. Der Lichtzahl-Wert von 3.8 bedeutet, dass es sich um Pflanzen mit einer Hauptverbreitung in vollem Licht handelt. Es sind Lichtzeiger. Bei einer Feuchtezahl von 3.0 kann von Pflanzen ausgegangen werden, welche mässig trockene bis mässig Feuchte Böden bevorzugen. Der Reaktionszahl-Wert von 3.6 spricht für Böden im leicht sauren bis leicht alkalischen Bereich. Der Wert von 3.8 bei der Nährstoffzahl ergibt nährstoffreiche Böden. Bei den Pflanzen die dort wachsen handelt es sich um Nährstoffzeiger.

4.2.5 Lebensraumeinheiten

Jeder aufgenommenen Kreisfläche, den Lebensräumen, den Pflanzen in den Rebtrögen (RT) und den auffälligen Pflanzen ausserhalb der Kreisflächen wurden im Vegedaz, basierend auf den ungewichteten mittleren Zeigerwerte nach Landolt et al. (2010), die drei wahrscheinlichsten Lebensraumeinheiten mit der dazugehörigen Ähnlichkeit zur Referenz (Delarze et al., 2015) zugeordnet (Tabelle 11 bis Tabelle 14). Die Ähnlichkeit ist nach Jaccard angegeben, wobei 1 die genau gleiche Artgarnitur bedeutet und 0, dass keine gemeinsamen Arten vorhanden waren. Die erhaltenen Ähnlichkeiten zur Referenz liegen zwischen 2% und 9%.

Tabelle 11: Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. für aufgenommene Kreisflächen 1 und 2. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot).

Kreisfläche (KF)	Lebensraumeinheit Rang 1	Ähnlichkeit Rang 1	Lebensraumeinheit Rang 2	Ähnlichkeit Rang 2	Lebensraumeinheit Rang 3	Ähnlichkeit Rang 3
MO 1	1.3.2. Cratoneurion	0.04	4.4.2. Salicion herbaceae	0.04	4.5.3. Cynosurion	0.04
MO 2	4.0 Kunstrasen.	0.05	1.3.2. Cratoneurion	0.04	4.4.2. Salicion herbaceae	0.04
MU 1	4.5.3. Cynosurion	0.05	1.3.2. Cratoneurion	0.04	4.5.4. Poion alpinae	0.04
MU 2	5.2.1. Atropion	0.03	2.5.2. Bidention	0.03	3.3.2.3. Galeopsis segetum	0.03
MW 1	8.2.3.2. Fumario-Euphorbion	0.02	5.1.3. Convovulion	0.02	4.3.2. Caricion firmae	0
MW 2	8.2.3.2. Fumario-Euphorbion	0.02	5.1.3. Convovulion	0.02	6.3.6. Quericon robori-petraeae	0
Of 1	4.5.3. Cynosurion	0.08	4.5.4. Poion alpinae	0.08	4.5.1. Arrhenatherion	0.07
Of 2	4.5.3. Cynosurion	0.07	4.5.4. Poion alpinae	0.05	4.5.1. Arrhenatherion	0.05
Os 1	8.2.3.3. Panico-Setarion	0.04	7.1.3. Poion supinae	0.03	2.5.2. Bidention	0.03
Os 2	2.5.2. Bidention	0.03	8.2.3.3. Panico-Setarion	0.02	8.2.3.2. Fumario-Euphorbion	0.02
Ot 1	8.2.3.2. Fumario-Euphorbion	0.02	5.1.3. Convovulion	0.02	4.2.1.1. Stipo-Poion	0
Ot 2	8.2.3.2. Fumario-Euphorbion	0.02	5.1.3. Convovulion	0.02	2.2.4. Caricion lasiocarpae	0

Tabelle 12: Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. pro Lebensraum. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot)

Lebensraum	Lebensraumeinheit Rang 1	Ähnlichkeit Rang 1	Lebensraumeinheit Rang 2	Ähnlichkeit Rang 2	Lebensraumeinheit Rang 3	Ähnlichkeit Rang 3
MO	4.5.3. Cynosurion	0.05	4.0. Kunstrasen	0.05	7.1.2. Polygonion avicularis	0.05
MU	4.5.3. Cynosurion	0.05	1.3.2. Cratoneurion	0.03	4.5.4. Poion alpine	0.03
MW	8.2.3.2. Fumario-Euphorbion	0.02	5.1.3. Convolvulion	0.02		
Of	4.5.3. Cynosurion	0.09	4.5.4. Poion alpine	0.07	4.5.1. Arrhenatherion	0.07
Os	8.2.3.3. Panico-Setarion	0.04	7.1.3. Poion supinae	0.03	2.5.2. Bidention	0.03
Ot	8.2.3.2. Fumario-Euphorbion	0.02	5.1.3. Convolvulion	0.02		

Tabelle 13: Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. für auffällige Pflanzen ausserhalb der Kreisflächen (AP). Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese schattig (Os)

Lebensraum	Lebensraumeinheit Rang 1	Ähnlichkeit Rang 1	Lebensraumeinheit Rang 2	Ähnlichkeit Rang 2	Lebensraumeinheit Rang 3	Ähnlichkeit Rang 3
MO	2.1.1. Sphagno-Urticularion	0.06	2.1.4. Glycerio-Sparaganion	0.04	7.1.3. Poion supinae	0.04
MU	7.1.3. Poion supinae	0.08	7.1.7. Rumicion alpini	0.06	7.1.2. Polygonion avicularis	0.05
MW	7.1.3. Poion supinae	0.07	7.1.7. Rumicion alpini	0.06	7.1.2. Polygonion avicularis	0.05
Os	5.2.5. Adlerfarnflur	0.08	5.2.2. Epilobion angustifolii	0.05	7.1.8. Arction	0.05

Tabelle 14: Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. für Rebtröge (RT)

Lebensraum	Lebensraumeinheit Rang 1	Ähnlichkeit Rang 1	Lebensraumeinheit Rang 2	Ähnlichkeit Rang 2	Lebensraumeinheit Rang 3	Ähnlichkeit Rang 3
RT	8.2.3.3. Panico-Setarion	0.04	8.2.3.1. Polygono-Chenopodion	0.04	8.2.3.2. Fumario-Euphorbion	0.03

4.2.6 Floristische Ähnlichkeit

Die Floristische Ähnlichkeit der einzelnen Kreisflächen derselben Lebensräume wurden einerseits mit dem Jaccard-Koeffizienten verglichen. Dabei wurden Ähnlichkeitswerte zwischen 23% (MU) und 100% (Ot) erreicht. Andererseits wurden dieselben Vergleiche mit dem Van-der-Maarel-Koeffizienten vorgenommen und Werte zwischen 2% (MU) und 100% (Ot) erzielt. Ausserdem wurde die floristische Ähnlichkeit zwischen Kreisflächen unterschiedlicher Lebensräume verglichen, welche teilweise ebenfalls eine hohe Floristische Ähnlichkeit aufweisen. Beim Jaccard-Koeffizienten gab es Ähnlichkeiten von bis zu 75% (Tabelle 15), beim Van-der-Maarel-Koeffizienten sogar bis zu 76% (Tabelle 16).

Tabelle 15: Jaccard-Koeffizient Kreisflächen. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot)

Kreisfläche (KF)	MW 1	MW 2	MO 1	MO 2	MU 1	MU 2	Of 1	Of 2	Os 1	Os 2	Ot 1	Ot 2
MW 1	1	0.5	0.22	0.2	0.36	0.38	0.3	0.27	0.07	0.23	0.33	0.33
MW 2	0.5	1	0.11	0.1	0.27	0.25	0.2	0.18	0.15	0.36	0.75	0.75
MO 1	0.22	0.11	1	0.44	0.23	0.33	0.27	0.36	0.06	0.06	0	0
MO 2	0.2	0.1	0.44	1	0.21	0.3	0.25	0.45	0.06	0.2	0	0
MU 1	0.36	0.27	0.23	0.21	1	0.23	0.29	0.46	0.11	0.24	0.18	0.18
MU 2	0.38	0.25	0.33	0.3	0.23	1	0.17	0.15	0.06	0.21	0.13	0.13
Of 1	0.3	0.2	0.27	0.25	0.29	0.17	1	0.55	0.06	0.12	0.1	0.1
Of 2	0.27	0.18	0.36	0.45	0.46	0.15	0.55	1	0.18	0.25	0.09	0.09
Os 1	0.07	0.15	0.06	0.06	0.11	0.06	0.06	0.18	1	0.38	0.17	0.17
Os 2	0.23	0.36	0.06	0.2	0.24	0.21	0.12	0.25	0.38	1	0.27	0.27
Ot 1	0.33	0.75	0	0	0.18	0.13	0.1	0.09	0.17	0.27	1	1
Ot 2	0.33	0.75	0	0	0.18	0.13	0.1	0.09	0.17	0.27	1	1

Tabelle 16: Van-der-Maarel-Koeffizient Kreisflächen. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot)

Kreisfläche (KF)	MW 1	MW 2	MO 1	MO 2	MU 1	MU 2	Of 1	Of 2	Os 1	Os 2	Ot 1	Ot 2
MW 1	1	0.41	0.04	0.04	0.08	0.03	0.13	0.15	0.06	0.15	0.03	0.03
MW 2	0.41	1	0	0.03	0.21	0.01	0.12	0.24	0.08	0.46	0.1	0.1
MO 1	0.04	0	1	0.57	0.01	0.7	0.44	0.04	0	0	0	0
MO 2	0.04	0.03	0.57	1	0.24	0.69	0.76	0.23	0	0.04	0	0
MU 1	0.08	0.21	0.01	0.24	1	0.02	0.22	0.46	0.02	0.22	0.03	0.03
MU 2	0.03	0.01	0.7	0.69	0.02	1	0.68	0.05	0.02	0.01	0	0
Of 1	0.13	0.12	0.44	0.76	0.22	0.68	1	0.17	0.02	0.07	0.01	0.01
Of 2	0.15	0.24	0.04	0.23	0.46	0.05	0.17	1	0.04	0.2	0.02	0.02
Os 1	0.06	0.08	0	0	0.02	0.02	0.02	0.04	1	0.13	0.01	0.01
Os 2	0.15	0.46	0	0.04	0.22	0.01	0.07	0.2	0.13	1	0.19	0.19
Ot 1	0.03	0.1	0	0	0.03	0	0.01	0.02	0.01	0.19	1	1
Ot 2	0.03	0.1	0	0	0.03	0	0.01	0.02	0.01	0.19	1	1

4.3 Vitalitätsbeurteilung Reben

Die im Absatz 3.6 aufgestellte Hypothese, dass Rebstöcke, welche keinen Fruchtweig innerhalb +/- 5 cm des Kreuzes der gebogenen Tragrute aufweisen, als wuchsschwach zu bezeichnen sind, konnte durch Literatur nicht bestätigt werden. Deswegen sind alle Reben, die aus diesem Grund als wuchsschwach eingestuft wurden, für alle weiteren Betrachtungen vernachlässigt worden und entsprechend nicht in die Resultate eingeflossen. Dies ist bei 20 der Total 156 Rebstöcken auf dem Dach KHK St. Gallens der Fall. Insgesamt weisen 39 der 136 Reben eine Wachstumsdepression gemäss Absatz 3.6 auf (Diagramm 17). In den nachfolgenden Diagrammen (Diagramm 18 bis Diagramm 22) ist für jede Sorte der prozentuale Anteil der Reben aufgeführt, die bei einem oder mehreren Trieben eine Wachstumsdepression aufweisen. Die vollständigen Tabellen mit den Daten zu den Triebblängen sind im Anhang XIII ersichtlich.

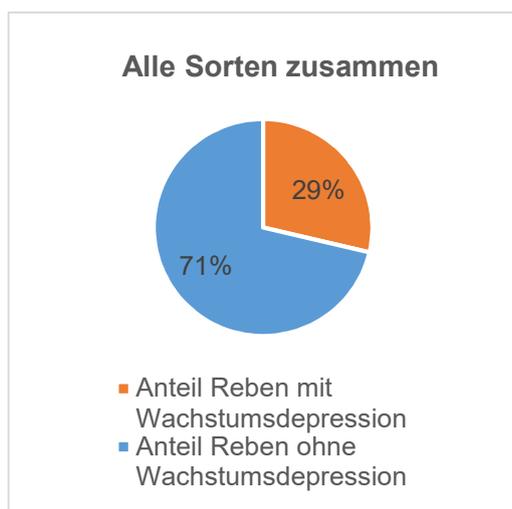


Diagramm 17: Anteil Reben mit Wachstumsdepression über alle Sorten aus gesehen

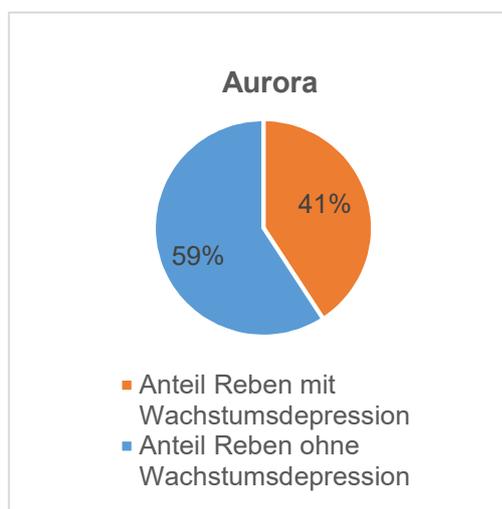


Diagramm 18: Anteil Reben mit Wachstumsdepression bei der Sorte Aurora

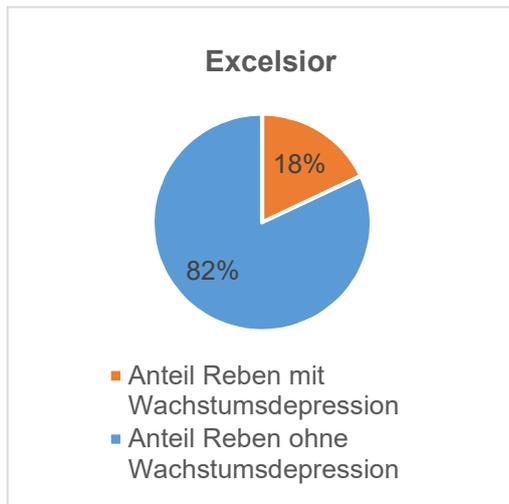


Diagramm 19: Anteil Reben mit Wachstumsdepression bei der Sorte Excelsior

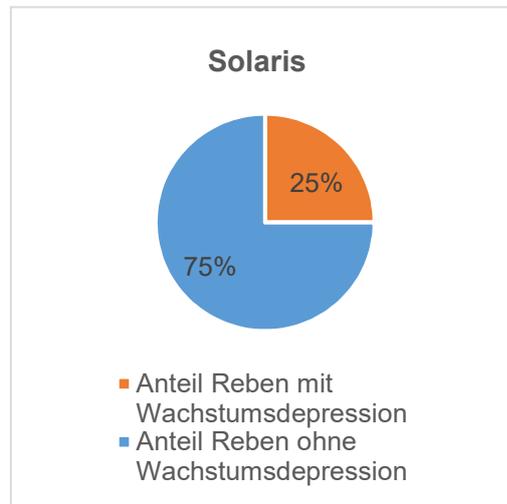


Diagramm 20: Anteil Reben mit Wachstumsdepression bei der Sorte Solaris

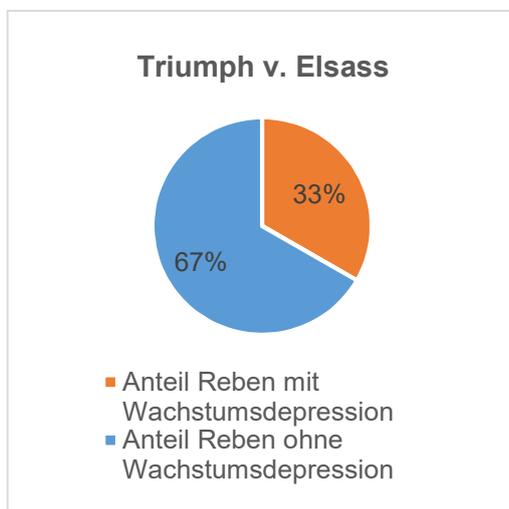


Diagramm 21: Anteil Reben mit Wachstumsdepression bei der Sorte Triumph v. Elsass

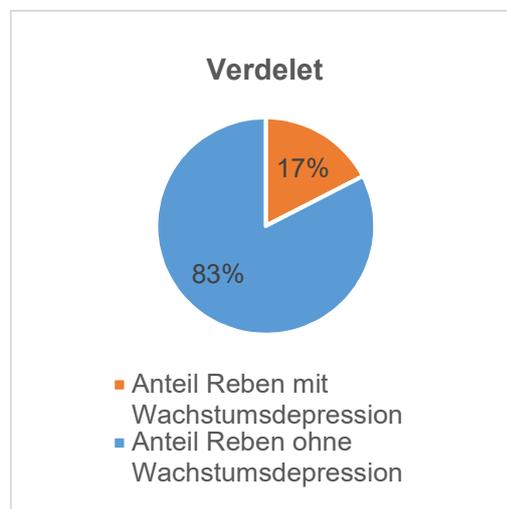


Diagramm 22: Anteil Reben mit Wachstumsdepression bei der Sorte Verdelet

5 Diskussion

5.1 Vegetationsaufnahme

Die Vegetationsaufnahmen erfolgten von Ende August bis Anfang September 2018. Durch den extremen Sommer war die Vegetation bereits sehr weit fortgeschritten. Verschiedenste Infloreszenzen waren bereits verwelkt und nicht mehr bestimmbar. Zudem waren die beiden Teilflächen des Lebensraumes Magerwiese Kies-Oberboden bereits gemäht worden, weswegen nur noch Pflanzen, welche nach der Mahd wuchsen, bestimmt werden konnten.

Der Gesamtdeckungsgrad der Vegetation (Gefässpflanzen) liegt bei den einzelnen Aufnahmen zwischen 35% und 95% (Absatz 4.2) und kann somit als gut bezeichnet werden. Insbesondere wenn das noch junge Alter der Dachbegrünung und die extreme Trockenheit im Sommer 2018 in die Betrachtung miteinbezogen werden. Einzig die Lebensräume Orchideenwiese trocken und Rebgarten weisen mit 5%, respektive 1% (Anhang X) einen deutlich tieferen Deckungsgrad auf. Beim Lebensraum Orchideenwiese trocken ist der tiefe Deckungsgrad auf die weit fortgeschrittene Vegetation zum Aufnahmezeitpunkt und den hohen Deckungsgrad des Moosbewuchses zurückzuführen. Wie in Abbildung 11 anhand der vielen verwelkten Pflanzen sichtbar ist, musste der Deckungsgrad der Gefässpflanzen zu einem früheren Zeitpunkt im Jahr deutlich höher gewesen sein.



Abbildung 11: Deckungsgrad Vegetation beim Lebensraum Orchideenwiese trocken

Auf den Flächen des Lebensraumes Rebgarten ist innerhalb der aufgenommenen Kreisflächen (KF) nur eine einzige Art ermittelt worden (siehe Absatz 4.2). Dabei handelte es sich um «*Sedum album*». Diese Art stammte von der Erstbegrünung mit der Ansaatmischung «Extensive 1» der ZHAW. Die Flächen des Rebgarten, bei welchem das Substrat nur aus gewaschenem Rundkies besteht und einen pH-Wert von 9.54 aufwies (siehe Absatz 4.1.1), stellen einen sehr extremen Lebensraum dar. Damit sich hier eine stabile Vegetation mit einem hohen Deckungsgrad etablieren kann, müssen sich zuerst Nährstoffe anreichern und der pH-Wert neutraler werden.

5.1.1 Zeigerwerte

Die einzelnen gewichteten und ungewichteten Zeigerwerte der aufgenommenen Kreisflächen 1 und 2 sowie jene der Lebensräume, welche die Kreisflächen 1 und 2 zusammenfassend betrachten, liegen alle im selben Bereich (siehe Absatz 4.2.1 und 4.2.2). Dies wird von der statistischen Auswertung mittels Kruskal Wallis-Test bestätigt, welche besagt, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den gewichteten und ungewichteten Zeigerwerten der einzelnen Lebensräume besteht. Aufgrund des geringen Stichprobenumfanges (zwei Stichprobenpunkte pro Lebensraum) darf dieses Ergebnis jedoch nicht zu stark gewichtet werden.

Beim Vergleich einzelner Zeigerwerte der Lebensräume, auf welchen eine Pfeifengraswiese (*Molinion*) angestrebt wird, mit jenen Lebensräumen, auf welchen ein Mitteleuropäischer Halbtrockenrasen (*Mesobromion*) entstehen soll, ist noch keine Tendenz feststellbar. So liegt beispielsweise die ungewichtete Feuchtezahl der Lebensräume Orchideenwiese schattig und Orchideenwiese trocken bei beiden bei 3.0, was auf mässig trockene bis feuchte Böden hinweist. Bei der gewichteten Feuchtezahl weist der Lebensraum Orchideenwiese trocken mit 3.2 sogar einen höheren Wert auf als die beiden Lebensräume Orchideenwiese schattig und Orchideenwiese feucht mit 2.8, respektive 2.9. Dasselbe Muster zeigt sich bei der Lichtzahl. Der Lebensraum Orchideenwiese feucht weist mit 3.6 zwar den tiefsten ungewichteten Lichtzahl-Wert auf, jedoch ist jener der Orchideenwiese schattig mit 3.9 höher als jener der Orchideenwiese trocken, welcher bei 3.7 liegt.

Auch der Vergleich der ungewichteten Zeigerwerte der auffälligen Pflanzen ausserhalb der aufgenommenen Kreisflächen (Absatz 4.2.3), lässt keine eindeutigen Schlüsse auf die beiden Lebensraumeinheiten «*Molinion*» und «*Mesobromion*» zu. Einerseits weist der Lebensraum Orchideenwiese schattig mit 3.3 die tiefste Lichtzahl auf. Andererseits liegt der Wert der Feuchtezahl des Lebensraumes Magerwiese Oberboden mit 3.5 deutlich über dem Wert von 2.8, welcher bei der Orchideenwiese schattig ermittelt wurde.

Die ungewichteten Zeigerwerte der Pflanzen in den Rebtrögen (Absatz 4.2.4), korrelieren mit den Ansprüchen, welche Reben an Ihren Standort haben. Mit einem Wert von 3.8 bei der Lichtzahl, können die Begleitpflanzen der Reben, wie die Reben selbst, als Lichtzeiger eingestuft werden. Der

Reaktionszahl-Wert von 3.6 deutet auf Pflanzen mit Vorliebe für schwach saure bis leicht basische Böden hin. In diesem Milieu liegt auch der Optimalbereich der Reben. Die Nährstoffzahl von 3.8 steht für nährstoffreiche Böden. Die Weinrebe als Kulturpflanze benötigt für ihr vegetatives und generatives Wachstum ebenfalls Böden die reich an Nährstoffen sind.

Die Werte der Nährstoffzahl liegen auch bei allen aufgenommenen Kreisflächen (KF) und bei allen Lebensräumen (LR) zwischen 3.7 und 4.0 und sind somit ein Indiz für nährstoffreiche Bodenverhältnisse. Einzig die aufgenommene Kreisfläche «Orchideenwiese feucht 1» liegt mit einem Wert von 3.3 deutlich darunter. Beim Substrat in den Rebrögen ist eine hohe Nährstoffzahl gewünscht, jedoch nicht bei den unterschiedlichen Lebensräumen auf dem Dach des KHK St. Gallens, auf welchen Magerwiesen entstehen sollen.

Beim Vergleich der ermittelten mittleren Zeigerwerte der Lebensräume (LR) nach Landolt et al. (2010) mit den Zeigerwerten der als Zielarten definierten Orchideen (Tabelle 17), fällt auf, dass die Werte der Kontinentalitäts- und Temperaturzahl im selben Bereich liegen. Einzig die Art «*Ophrys apifera*» weist mit einem Wert von 2 eine tiefere Kontinentalitätszahl auf. Die Lichtzahl der Zielarten bewegt sich zwischen 3 und 4 (Halbschatten bis Licht). Jene der Lebensräume (LR) zwischen 3.6 und 3.9, also ebenfalls im Bereich von Halbschatten bis Licht, mit einer geringen Tendenz zu Lichtzeigern. Die Werte der Reaktionszahl der Zielarten reichen von 3 (schwach saure Böden) bis 4 (schwach basische Böden). Einzig die Zielart «*Ophrys apifera*» mit dem Wert 5 ist ein ausgesprochener Basenzeiger. Wohingegen die Reaktionszahl-Werte von 2.9 bis 3.3 bei den unterschiedlichen Lebensräumen (LR) alle im schwach sauren Bereich liegen. Die Orchideen, welche als Zielart für die feuchte Lebensraumeinheit (*Molinion*) vorgesehen sind, bevorzugen feuchte bis sehr feuchte Standorte. Jene welche für die halbtrockene Lebensraumeinheit (*Mesobromion*) angedacht sind, mässig trockene bis feuchte Standorte. Allen als Zielart vorgesehenen Orchideen ist es gemein, dass sie wechselfeuchte Böden bevorzugen. Die Lebensräume (LR) auf dem Dach des KHK weisen mit Werten zwischen 2.8 und 3.1 alle mittlere Feuchtigkeitsverhältnisse auf und entsprechen somit eher jenen Orchideen, welche für die halbtrockene Lebensraumeinheit (*Mesobromion*) vorgesehen sind. Abgesehen von den Zielarten «*Dactylorhiza majalis*», «*Listera ovata*» und «*Orchis mascula*», die mässig nährstoffarme bis mässig nährstoffreiche Böden bevorzugen, sind alles Magerkeitszeiger, welche auf nährstoffarme Böden angewiesen sind. Die Werte der Nährstoffzahl der Lebensräume (LR) auf dem Dach des KHK St. Gallen liegen hingegen, wie bereits erwähnt im Bereich von 3.7 und 4.0, was auf nährstoffreiche Bodenverhältnisse hindeutet.

Tabelle 17: Zeigerwerte Zielarten, blau Lebensraumeinheit Molinion, gelb Lebensraumeinheit Mesobromion. F = Feuchtezahl, R = Reaktionszahl, N = Nährstoffzahl, L = Lichtzahl, T = Temperaturzahl, K = Kontinentalitätszahl

Wissenschaftlicher Name	Zeigerwerte nach Landolt					
	F	R	N	L	T	K
Dactylorhiza fuchsii	3+w+	4	2	3	3+	3
Dactylorhiza majalis	4+w+	4	3	4	2+	3
Dactylorhiza incarnata	4+w+	4	2	4	3+	3
Listera ovata	3+w+	3	3	3	3	3
Gymnadenia conopsea	3w+	4	2	4	3+	3
Epipactis palustris	4+w	3	2	4	3	3
Anacamptis morio	2+w+	3	2	4	4	3
Orchis coriophora	3+	4	2	4	4+	3
Orchis mascula	3w	4	3	3	3+	4
Ophrys apifera	2w+	5	2	3	4+	2

5.1.2 Lebensraumeinheiten

Die Zuordnung der Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. (2015), welche im Vegedaz für die aufgenommenen Kreisflächen (KF), die Lebensräume (LR), die auffälligen Pflanzen ausserhalb der Kreisflächen (AP) und die Pflanzen in den Rebtrögen (RT) vorgenommen wurden, basiert bezüglich Artgarnitur auf sehr geringe Ähnlichkeiten zur Referenz. Die Ähnlichkeitswerte reichen von 2% bis maximal 9% (siehe Absatz 4.2.5). Weder einer aufgenommenen Kreisfläche (KF), noch einem Lebensraum (LR) auf dem Dach des KHK St. Gallen wurde aufgrund der erfassten Arten durch das Programm Vegedaz eine der beiden angestrebten Lebensraumeinheiten «*Molinion*» oder «*Mesobromion*» zugeordnet. Eine Tendenz zu feuchten oder trockenen Lebensraumeinheiten ist bei den vorhandenen Lebensräumen (LR) auf dem Dach des KHK St. Gallen nicht auszumachen, denn jedem Lebensraum (LR) wurden sowohl Lebensraumeinheiten die auf trockenen, wie auch solche, welche auf feuchten bis nassen Böden vorkommen, zugeordnet. Jedoch spiegelt sich das Bild der Zeigerwerte, denn alle zugeordneten Lebensraumeinheiten sind auf nährstoffreiche Böden angewiesen (Absatz 4.2.5, Tabelle 12).

Den Pflanzen in den Rebtrögen (RT) wurden die Lebensraumeinheiten «*Panico-Setarion*», «*Polygono-Chenopodion*» und «*Fumario-Euphorbion*» zugeordnet (Absatz 4.2.5, Tabelle 14). Diese Lebensraumeinheiten sind auf landwirtschaftliche intensive genutzte Böden angewiesen. Dazu gehören Feldkulturen, Gemüsegärten, offene Ackerkulturen und Rebberge (Delarze et al., 2015). Trotz der geringen Ähnlichkeitswerte der Artgarnitur zur Referenz (3-4%), ist die Zuordnung der Lebensraumeinheiten zutreffend.

5.1.3 Floristische Ähnlichkeit

Die gemäss Absatz 4.2.6 hohe floristische Ähnlichkeit mit Werten von 23 bis 100% beim Jaccard-Koeffizienten und Werten von 2% bis 100% beim Van-der-Maarel-Koeffizienten zwischen den Kreisflächen (KF) 1 und 2 desselben Lebensraumes (LR) erstaunt nicht, sind doch die Standortbedingungen, die Substratzusammensetzung und der Sichtaufbau identisch. Jedoch wurde auch eine hohe floristische Ähnlichkeit zwischen Kreisflächen (KF) unterschiedlicher Lebensräume (LR) festgestellt. Dies sowohl beim Jaccard-, als auch beim Van-der-Maarel-Koeffizienten. Beim Jaccard-Koeffizienten sind Ähnlichkeitswerte bis zu 75% (Absatz 4.2.6, Tabelle 15), beim Van-der-Maarel-Koeffizienten sogar bis zu 76% (Absatz 4.2.6, Tabelle 16) berechnet worden. In diesen Fällen muss die hohe floristische Ähnlichkeit kritisch betrachtet werden, denn die unterschiedlichen Lebensräume (LR) variieren in ihrem Schichtaufbau und ihrer Substratzusammensetzung (Absatz 3.1, Tabelle 1) und somit herrschen auch unterschiedliche Standortfaktoren vor.

5.1.4 Synthese der Vegetationsanalysen

Die aus den Vegetationsanalysen erhaltenen Resultate sind Momentaufnahmen einer noch sehr jungen Vegetation, welche im Anfangsstadium ihrer Entwicklung steht. Die hohe floristische Ähnlichkeit zwischen den unterschiedlichen Lebensräumen sowie die Zeigerwerte, welche sich nicht signifikant voneinander unterscheiden, können auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden. Einerseits enthält das Substrat der Lebensräume Magerwiese Kies-Oberboden, Magerwiese Oberboden, Orchideenwiese feucht, Orchideenwiese trocken und Orchideenwiese schattig Oberboden, welcher von derselben Quelle stammt. Andererseits fand bei den Lebensräumen Magerwiese Kies-Oberboden, Magerwiese Oberboden, Magerwiese Unterboden Orchideenwiese feucht, Orchideenwiese trocken und Orchideenwiese schattig eine Erstbegrünung mittels Schnittgutübertrag statt. Bei allen Lebensräumen wurde dasselbe Schnittgut verwendet, welches von der nahe gelegenen «Ochsenweid» stammt. Die im Oberboden enthaltenen Pflanzensamen sowie jene, welche mit dem Schnittgut eingebracht wurden, prägen die Vegetation der jungen und dadurch noch wenig differenzierten Lebensräume auf dem Dach des KHK St. Gallen. Aufgrund der unterschiedlichen Schichtaufbauten und Substratzusammensetzungen werden sich voraussichtlich bei diesen im Laufe der Zeit unterschiedliche Standortbedingungen einstellen. Diese sorgen wiederum dafür, dass sich verschiedene Pflanzengesellschaften einfinden.

5.2 Substratanalysen

Für die Interpretation der Resultate aus den Substratanalysen wurde die Dissertation «Biologische Bodenaktivität, Kohlenstoffumsatz und Nährstoffversorgung auf Magerrasen-Standorten unterschiedlicher Produktivität» von Petra Ogermann (1999) sowie die Bücher «Bodenökologie» von

Ulrich Gisi (1997) und «Lehrbuch der Bodenkunde» von Scheffer et al. (2010) verwendet. Die Parameter des Substrats der Rebtröge werden im Absatz 5.4 separat behandelt.

5.2.1 pH-Wert und Leitfähigkeit

Die **pH-Werte** liegen bei allen Lebensräumen zwischen 7.53 und 9.54. Die höchsten Werte wurden bei den Lebensräumen Rebgarten mit 9.54 und Magerwiese Unterboden mit 8.25 gemessen. Alle anderen Lebensräume weisen Werte zwischen 7.53 und 7.88 auf (Absatz 4.1.1, Diagramm 1). Gemäss Gisi (1997) liegt der Optimalbereich des pH-Wertes für viele Bodenprozesse zwischen 5 und 7.5. Bei den durch Ogermann untersuchten Magerrasenstandorten lagen die pH-Werte zwischen 6.7 und 8.05, mit einem Mittelwert von 7.6 (Ogermann, 1999). Im Vergleich mit dem Optimalbereich von Gisi (1997) weisen alle Lebensräume einen erhöhten pH-Wert auf. Werden die Resultate von Ogermann (1999) in die Betrachtung miteinbezogen, liegen die pH-Werte, abgesehen von den Lebensräumen Rebgarten und Magerwiese Unterboden im Bereich, welche natürliche Magerrasenstandorte aufweisen. Die hohen pH-Werte der Lebensräume Rebgarten und Magerwiese Unterboden könnten auf den geringen Anteil an organischer Substanz zurückzuführen sein, denn diese Lebensräume weisen auch den tiefsten **Humusgehalt** auf (siehe Absatz 4.1.2, Diagramm 4). Beim Abbau von organischer Substanz (Humus) entstehen saure Nebenprodukte, die den pH-Wert im Substrat senken (Scheffer et al., 2010).

Die **Leitfähigkeit** bei den Lebensräumen liegt zwischen 80.5 und 439 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Der Lebensraum Rebgarten besitzt mit 80.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ den mit Abstand tiefsten Wert. Alle anderen Lebensräume weisen Werte zwischen 285 und 439 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf (Absatz 4.1.1, Diagramm 2). Auf Magerwiesen kann die Leitfähigkeit bis zu 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ betragen. Somit kann die Leitfähigkeit der Lebensräume Orchideenwiese feucht, Orchideenwiese schattig und Magerwiese Oberboden als leicht erhöht eingestuft werden. Aufgrund der erhöhten Leitfähigkeit bei diesen Lebensräumen, welche auf den Gesamtsalzgehalt schliessen lässt, kann davon ausgegangen werden, dass in deren Bodenlösung viele Ionen gelöst sind. Die pH- und Leitfähigkeitswerte dieser Arbeit beruhen auf einer Einzelmessung. Aus diesem Grund war es nicht möglich, mit statistischen Tests zu prüfen, ob sich die Werte der einzelnen Lebensräume signifikant voneinander unterscheiden. Die Ergebnisse sind daher mit Vorsicht zu betrachten.

5.2.2 C/N-Verhältnis

Durch das C/N-Verhältnis können Aussagen zur biologischen Aktivität und Nährstoffverfügbarkeit im Boden gemacht werden. Je kleiner das Verhältnis ausfällt, desto attraktiver ist die organische Substanz für Bodenlebewesen als Nahrungsquelle und umso schneller wird diese mineralisiert. Bei Acker und Grünlandböden beträgt das C/N-Verhältnis meist <10 bis 15 (Scheffer et al., 2010). Die

ermittelten Werte bei den Substratproben der unterschiedlichen Lebensräume auf dem Dach des KHK St. Gallens liegen zwischen 2.57 und 14.32 (Absatz 4.1.2, Diagramm 3). Die biologische Aktivität und Nährstoffverfügbarkeit kann damit als optimal bezeichnet werden.

5.2.3 Nährstoffanalysen

Bei allen Lebensräumen lagen die Werte der **Röntgenfluoreszenz-Analyse** (Absatz 4.1.3, Tabelle 3) der **Makronährstoffe** Phosphor, Kalium, Magnesium und Schwefel im Bereich für Landwirtschaftsböden gemäss Gisi (1997) und Scheffer et al. (2010). Der Calcium-Gehalt hingegen überschritt bei allen Lebensräumen die von Gisi (1997) und Scheffer et al. (2010) genannten Werte um ein vielfaches. Die Werte der **Mikronährelemente** Eisen, Mangan, Kupfer, Zink und Chlor sowie die der nützlichen Elemente Natrium und Cobalt lagen ebenfalls in dem von Gisi (1997) und Scheffer et al. (2010) genannten Bereich für Landwirtschaftsböden. Die Silicium-Werte hingegen, wurden bei den Lebensräumen Magerwiese Oberboden und Orchideenwiese feucht überschritten. Bei den Nährstoffgehalten die mittels Röntgenfluoreszenz-Analyse ermittelt wurden, handelt es sich um den Gesamtgehalt an Nährstoffen, welche in den Substraten vorhanden sind.

Mittels **Photometrie**, respektive einer **Optischen Emissionsspektrometrie** wurden für die **Makronährstoffe** Phosphor, Calcium, Magnesium und Kalium auch die leicht löslichen, pflanzenverfügbaren Gehalte ermittelt (Absatz 4.1.4 und 4.1.5). Diese in der Bodenlösung vorhandenen Nährstoffe machen ungefähr 2 % des Gesamtnährstoffgehalts aus. Die Phosphor-Werte variieren von 0.1 mg/kg bis 6.9 mg/kg Boden. Die von Ogermann (1999) erhaltenen Phosphor-Gehalte bei 12 untersuchten Magerrasen-Standorten bewegen sich mit Werten von 0.41 mg/kg bis 5.94 mg/kg Boden im selben Bereich. Die Kalium-Gehalte der Substratproben reichen von 14.8 mg/kg bis 51.7 mg/kg Boden. Bei Ogermann (1999) wurde ein Spektrum von 17 mg/kg bis 106 mg/kg Boden ermittelt. Die Magnesium-Gehalte von 10.8 mg/kg bis 30.5 mg/kg Boden sind ebenfalls vergleichbar mit jenen von Ogermann (15 - 58 mg/kg Boden). Die Calcium-Gehalte der Substratproben fallen mit Werten von 104.7 mg/kg bis 357 mg/kg Boden tiefer aus, als jene von Ogermann (1999), die zwischen 386 mg/kg und 2182 mg/kg Boden liegen.

Der prozentuale Anteil an **organischem Kohlenstoff** (Tabelle 2) bei den Lebensräumen Orchideenwiese feucht, Orchideenwiese schattig, Orchideenwiese trocken, Magerwiese Oberboden und Magerwiese Kies-Oberboden liegt in dem von Scheffer et al. (2010) angegebenen Bereich für Ackerböden. Bei den restlichen Lebensräumen liegt der Anteil unter dem Literaturwert. Beim Vergleich mit den Magerrasen-Standorten (Ogermann, 1999) fallen die Lebensräume Orchideenwiese feucht, Orchideenwiese schattig, Magerwiese Oberboden und Magerwiese Kies-Oberboden in das von Ogermann festgestellte Spektrum an Gehalten von organischem Kohlenstoff. Bei allen anderen sind die Werte tiefer.

Der **Stickstoffgehalt** (Tabelle 2) aller Lebensräume ist geringer als der Literaturwert für Grünland (Scheffer et al., 2010), welcher von 2000 mg/kg bis 6000 mg/kg Boden reicht. Die von Ogermann (1999) ermittelten Stickstoffgehalte reichen von 0.12 bis 1.15%. Die N-Gehalte der Lebensräume Magerwiese Oberboden (0.19%), Orchideenwiese feucht (0.18%) und Orchideenwiese schattig (0.16%) liegen innerhalb dieser Werte. Jedoch weit unter dem Mittelwert von 0.4%.

5.2.4 Synthese Substratanalysen

Die Substrate der Lebensräume Orchideenwiese feucht, Orchideenwiese schattig, Orchideenwiese trocken, Magerwiese Oberboden und Magerwiese Kies-Oberboden enthalten Oberboden, im Gegensatz zu den anderen Lebensräumen (Absatz 3.1, Tabelle 1). Ackerböden enthalten 1 bis 5% organische Substanz (Humus) im Oberboden und 0.1 bis 1% im Unterboden. Organische Substanz besteht unter anderem aus Verbindungen die Kohlenstoffatome beinhalten (Kulli, Matile, Berger, Mathis & Daniel, 2015). Das erklärt den höheren Gehalt an organischem Kohlenstoff bei den Lebensräumen, die Oberboden enthalten. Dies spiegelt sich auch im berechneten Humusgehalt der Substratproben, welcher bei den besagten Lebensräumen ebenfalls höher ausfällt als bei jenen, die kein Oberboden beinhalten (Absatz 4.1.2, Diagramm 4). Das gleiche Muster zeigt sich bei den pH-Werten. Die Substrate der beiden Lebensräume Rebgarten und Magerwiese Unterboden enthalten keinen Oberboden und besitzen die höchsten pH-Werte der vorhandenen Lebensräume auf dem Dach des KHK St. Gallen. Die Makronährstoffe Stickstoff und Phosphor sowie der Mikronährstoff Schwefel sind ebenfalls in der organischen Substanz des Bodens zu finden (Kulli et al., 2015). Auch der Gehalt dieser Elementen korreliert mit dem Humusgehalt der Substratproben der unterschiedlichen Lebensräume (Absatz 4.1, Tabelle 2, Tabelle 3, Diagramm 8).

Beim Vergleich der ermittelten Calcium-Gehalte der Röntgenfluoreszenz-Analyse mit jenen der Optischen Emissionsspektrometrie fällt auf, dass erstere über und letztere unter den Literaturwerten liegen. Das bedeutet, dass trotz der hohen Gesamtgehalte an Calcium ein Mangel an pflanzenverfügbarem Calcium vorliegt. Wie dieser Sachverhalt zustande kommt, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden.

5.3 Eignung der Schichtaufbauten für Magerwiesen

Die ermittelten Nährstoffgehalte der noch jungen Lebensräume auf dem Dach des KHK St. Gallens entsprechen bereits weitgehendst den Literaturwerten für Magerrasenstandorte gemäss Ogermann (1999). Die bei der Vegetationsaufnahme festgestellte Dominanz von Nährstoffzeigern ist somit nicht auf die effektiv vorhandenen Standortbedingungen zurückzuführen, sondern auf die mit dem Substrat und der Erstbegrünung eingebrachten Samen. Durch die vorherrschenden Standortbedingun-

gen wird sich mit der Zeit eine den niedrigen Nährstoffgehalten entsprechende Vegetation etablieren. Die Hypothesen H(b)0 und H(b)1 können somit abgelehnt, die Hypothese H(b)2 hingegen bestätigt werden.

5.4 Vitalitätsbeurteilung Reben

Bei der Leitfrage, ob die Reben vital sind oder eine Wachstumsdepression aufweisen, können die Hypothesen H(c)0 und H(c)2, aufgrund der Resultate in Absatz 4.3, verworfen und die Hypothese H(c)1 bestätigt werden. Wie im Absatz 2.3.4 erwähnt, können abiotische Faktoren wie ein Ungleichgewicht bei den Bodennährstoffen zu einer Wachstumsdepression führen. Gemäss Richner et al. (2017) ist im Rebbau eine ausreichende Versorgung mit Phosphor ab 6.0 mg/kg, mit Kalium ab 25.0 mg/kg und mit Magnesium ab 15.0 mg/kg Boden gegeben (gemäss Bodenuntersuchungsmethode analog zu Beschrieb in Absatz 3.2.4 und 3.2.5). Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Werte beim Substrat der Rebtröge (RT) liegen für Phosphor bei 1.3 mg/kg, für Kalium bei 26.7 mg/kg und für Magnesium bei 15.5 mg/kg Boden. Kalium und Magnesium sind entsprechend ausreichend, Phosphor hingegen unzureichend vorhanden. Ein Grund für den Mangel an Phosphor könnte der Hohe pH-Wert des Rebtrögesubstrates sein. Gemäss Kapitel 4.1.6 wird das Substrat der Rebtröge (RT) als Lehm eingestuft. Bei mittleren Böden wie dem Lehm liegt der optimale pH-Wert für Reben gemäss Müller (1999) im Bereich von 6.0 bis 7.0. Nach Markus Hardegger (2019b) sind in der Praxis sogar pH-Werte bis 7.5 ideal. Der im Labor ermittelte pH-Wert ist mit 8.27 weit über dem Optimalbereich. Dadurch wird labiles Phosphat nicht wie gewünscht in wasserlösliches und den Pflanzen zugängliches Phosphat überführt, sondern in stabiles grobkristallines Phosphat, welches weitestgehend nutzlos ist für die Pflanzen (Müller, 1999). Ein Mangel an Phosphor (P) kann nach Ziegler (2011) zu verringertem Trieb- und Wurzelwachstum führen.

Der hohe pH-Wert führt auch zu einer verschlechterten Verfügbarkeit von Mikronährstoffen. Vergleicht man die im Absatz 4.1.3 erhaltenen Gehalte der Mikronährelemente Cl, Fe, Mn, Zn und Cu des Substrats der Rebtröge (RT) mit den mittleren Gehalten an Pflanzennährelementen in landwirtschaftlichen Böden gemäss Gisi (1997), liegen alle innerhalb des angegebenen Bereiches. Nur Cl ist mit einem Wert von 7.8 mg/kg leicht unter dem Literaturwert von 10-1000 mg/kg Boden. Gemäss Müller (1999) kommt bei Reben ein Mangel an Cl nicht vor, da diese nur sehr geringen Mengen davon benötigen.

Der Humusgehalt ist ein Mass für die potenzielle Nachlieferung von Stickstoff (N) in den Böden (Richner et al., 2017). Der im Substrat Rebtröge (RT) ermittelte Humusgehalt liegt bei 1.39% (siehe Absatz 4.1.2). Gemäss Richner et al. (2017) benötigen Böden mit einem Tonanteil von 20 bis 29.9%, wie es beim Rebtrögesubstrat der Fall ist, einem Humusgehalt von 2 bis 3.9%, um eine ausreichende Nachlieferung von Stickstoff (N) zu gewährleisten. Dies ist hier nicht gegeben. Eine ungenügende

Versorgung mit Stickstoff (N) führt gemäss Ziegler (2011) zu einem Schwachen Wuchs sowie kurzen und dünnen Trieben.

Die unzureichende Versorgung der Reben mit Phosphor (P) und Stickstoff (N) kann die Ursache für die festgestellte Wachstumsdepression der Reben sein. Hingegen erklären diese Werte nicht, wieso bei der Sorte Aurora, im Vergleich zu den restlichen Sorten, ein überdurchschnittlich hoher Anteil der Reben (41%) von einer Wachstumsdepression betroffen ist. Gemäss Markus Hardegger (2019b) gilt die Sorte Aurora als sehr fruchtbar. Das bedeutet, sie verfügt über ein sehr starkes generatives Wachstum (Früchte), was jedoch einen negativen Effekt auf das vegetative Wachstum (Triebwachstum) hat. Das Wachstum einer Rebe wird zudem von der verwendeten Unterlage beeinflusst. Bei der Sorte Aurora wurde die Unterlage «3309 Couderc» verwendet (Markus Hardegger, 2019b). Diese Unterlage zeichnet sich durch eine schwache bis mittlere Wuchskraft aus (Hofmann & Köpfer, 2014). Das starke generative Wachstum in Kombination mit der Verwendeten Unterlage «3309 Couderc» könnte der Grund sein, dass bei der Sorte Aurora überdurchschnittlich viele Reben von einer Wachstumsdepression betroffen sind.

5.5 Funktionalität des Dualen Dachbegrünungssystem

Durch die ermittelten Nährstoffgehalte der Substrate der einzelnen Lebensräume konnte aufgezeigt werden, dass die Schichtaufbauten des Dualen Dachbegrünungssystems Ihre Funktion erfüllen, indem sie Standortbedingungen für Magerwiesen geschaffen haben. Auch der überwiegende Teil der Reben wies keine Wuchsdepression auf und es konnte bereits im ersten Jahr eine Traubenernte von 54 kg eingebracht werden. Somit kann die Hypothese (a) 0 verworfen werden. Beim Begehen der Dachbegrünung wurde jedoch festgestellt, dass mehrere Kunststoffröhren des Ableitungssystems nicht mit den Überläufen der Rebtröge verbunden waren. Dadurch kann nährstoffreiches Überwasser aus den Trögen in die umliegenden Magerwiesen gelangen. Ob aufgrund dieses Störeinflusses das Duale Dachbegrünungssystem nur bedingt funktioniert, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht eruiert werden. Demnach kann die Hypothese (a) 1 und (a) 2 weder bestätigt noch abgelehnt werden.

5.6 Schlussfolgerung und Ausblick

Mit dieser Arbeit konnte aufgezeigt werden, dass sich die in den Substratproben der Lebensräume ermittelten Nährstoffgehalte grösstenteils im Bereich von natürlichen Magerwiesen befinden. Das C/N-Verhältnis kann bei allen Lebensräumen auf dem Dach des KHK St. Gallens als optimal bezeichnet werden. Hier ist jedoch anzumerken, dass bei Stickstoffgehalten von ≤ 0.1 mit dem Wert 0.1 kalkuliert wurde und dies zu einer Verfälschung der Ergebnisse geführt haben könnte. Die pH-

Werte aller Lebensräume liegen im alkalischen Bereich, wobei jene des Rebgartens und der Magerwiese Unterboden besonders hoch ausfallen. Die Leitfähigkeit liegt bei allen Substratproben im Bereich von Magerwiesen. Bei den Lebensräumen Magerwiese Oberboden, Orchideenwiese feucht und Orchideenwiese schattig jedoch um die Obergrenze herum. Aufgrund der Tatsache, dass bei der Leitfähigkeit und den pH-Werten nur eine Einzelmessung vorgenommen wurde, sind Ausreisser zwar unwahrscheinlich aber nicht auszuschliessen. Zukünftige Mehrfachmessungen sind unumgänglich um die weitere Entwicklung dieser Parameter zu verfolgen und um allfällige Ausreisser in dieser Arbeit zu identifizieren.

Im Gegensatz zu den Nährstoffanalysen konnte mit den durch die Vegetationsanalysen ermittelten Zeigerwerten keine Tendenz Richtung Mitteleuropäische Trockenwiese oder Pfeifengraswiese bei den unterschiedlichen Lebensräumen festgestellt werden. Die hohen Werte bei der Nährstoffzahl sind, wenn die Nährstoffanalysen in die Betrachtung mitebezogen werden, nicht auf die Nährstoffverhältnisse der Substrate zurückzuführen, sondern auf die noch junge Vegetation die im Anfang ihres Entwicklungsstadiums steht. Die hohe floristische Ähnlichkeit zwischen den verschiedenen Lebensräumen kann einerseits durch die Erstbegrünung, welche mit Schnittgut derselben Spenderfläche ausgeführt wurde, begründet werden. Andererseits durch den bei der Dachbegrünung verwendeten Oberboden, welcher bei verschiedenen Lebensräumen eingesetzt wurde. Die darin enthaltenen Samen, wie auch die Direktbegrünung, prägen die Vegetation der ersten Jahre. Weitere Vegetationsaufnahmen sind hier erforderlich, um die Entwicklung der Vegetation zu verfolgen und um festzustellen, ob sich die gewünschten Vegetationstypen der Lebensraumeinheiten «*Molinion*» und «*Mesobromion*» etablieren können. Ebenfalls ist zukünftig zu prüfen, ob die gewünschten Zielarten (Orchideen) das Dach des KHK St. Gallen spontan besiedeln oder ob mit einer Beimpfung aktiv nachgeholfen werden muss. Nebst den bereits erwähnten Zielarten gibt es weitere Arten, welche wünschenswert wären. Dazu zählen die auf der nahegelegenen Ochsenweid vorkommenden Orchideen *Gymnadenia conopsea* und *Epipactis palustris*. Mit einer zukünftigen Arbeit könnten auch faunistische Erhebungen durchgeführt werden, um herauszufinden, ob die Dachbegrünung mit den geschaffenen Kleinstrukturen auch Tieren, die auf der Roten-Liste stehen, ein Ersatz- oder Trittssteinhabitat bietet.

Im Bereich Roof top Farming konnte mittels der Vitalitätsbeurteilung aufgezeigt werden, dass ein Teil der Reben von einer Wachstumsdepression betroffen ist. Aufgrund der Traubenernte von 54 kg im ersten Jahr, kann jedoch behauptet werden, dass Rebbau auf dem Dach des KHK St. Gallens grundsätzlich möglich ist. Setzt sich ein gehäuftes Auftreten einer Wachstumsdepression bei der Sorte Aurora in den nächsten Jahren fort, könnte ein Ersatz durch eine Sorte, die sich bewährt hat, eine Lösung sein. Ganz allgemein ist eine Reduktion des pH-Wertes im Substrat der Rebtröge anzustreben, um eine ausgewogene Nährstoffversorgung der Reben zu erzielen. Durch Auswaschung von Calcium aus dem Substrat sowie dem Entzug von Calcium durch die Reben selbst, findet eine

Reduktion des pH-Wertes im Laufe der Zeit auf natürliche Weise statt. Eine Aufkalkung des Substrats wäre kontraproduktiv und sollte deswegen vermieden werden, solange der pH-Wert nicht unter den Optimalbereich fällt.

6 Literaturverzeichnis

- Ahrens, A. (2018). *Rooftop Reds: Weine vom Dach in Brooklyn - Falstaff*. Zugriff am 28.3.2019. Verfügbar unter: <https://www.falstaff.ch/nd/rooftop-reds-weine-vom-dach-in-brooklyn-1/>
- Augustyn, A., Bauer, P., Duignan, B. & et al. (1998). *Stunt | plant disease*. Zugriff am 4.3.2019. Verfügbar unter: <https://www.britannica.com/science/stunt-plant-disease>
- BAFU (Hrsg.). (2012). *Strategie Biodiversität Schweiz*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG). (2019). *Flachbogenerziehung*. Zugriff am 19.3.2019. Verfügbar unter: <https://www.lwg.bayern.de/>
- Binz, A. & Heitz, C. (1990). *Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz: mit Berücksichtigung der Grenzgebiete: Bestimmungsbuch für die wildwachsenden Gefässpflanzen* (19. Aufl.). Basel: Schwabe.
- Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (Hrsg.). (2010). *Klassifikation der Böden der Schweiz*. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz.
- Born, R. & Pölling, B. (2011). *Projekt „Zukunftsforum Urbane Landwirtschaft“ - Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen*. Zugriff am 4.3.2019. Verfügbar unter: <https://www.landwirtschaftskammer.de/Landwirtschaft/landentwicklung/urban/urbane-landwirtschaft.htm>
- Brenneisen, S. (2003). *Vom künstlichen Lebensraum zur Naturoase. Naturschutz auf dem Dach. Garten-/Landschaftsbau g'plus 16*).
- Brenneisen, S. (2016). *SKRIPT Modul Gebäudebegrünung*. ZHAW Wädenswil, unveröffentlicht.
- Brunner, M. (2018). *Grundlageplan Nr. 11.30-13_100*. Brunner Landschaftsarchitekten GmbH BSLA, verändert durch Autor.
- Currle, O. (Hrsg.). (1983). *Biologie der Rebe: Aufbau, Entwicklung, Wachstum*. Neustadt an der Weinstraße: Meininger.
- Delarze, R., Gonseth, Y., Eggenberg, S. & Vust, M. (2015). *Lebensräume der Schweiz: Ökologie - Gefährdung - Kennarten* (3., vollständig überarbeitete Auflage.). Bern: Ott der Sachbuchverlag.
- Eggenberg, S., Dalang, T., Dipner, M. & Mayer, C. (2001). *Kartierung und Bewertung der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung. Technischer Bericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 325. Technischer Bericht No. 325. (S. 252)*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Eggenberg, S., Möhl, A. & Wettstein, S. (2013). *Flora vegetativa: ein Bestimmungsbuch für Pflanzen der Schweiz im blütenlosen Zustand* (Haupt Natur) (3., ergänzte und überarbeitete Auflage.). Bern: Haupt Verlag.
- Eggenberger, W. & Schweizerischer Verband der Ingenieur-Agronomen und der Lebensmittelingenieur. (1990). *Weinbau*. Zollikofen: Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale.

-
- Eichert Thomas. (2013). *Stadtwinzer*. Zugriff am 28.3.2019. Verfügbar unter:
<http://www.stadtwinzer.net/wir-über-uns/>
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, W. G., Agroscope FAL Reckenholz, E. F. für A. und L. & Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins. (1996a). *Schweizerische Referenzmethoden der der Forschungsanstalten Agroscope, Band 2, E2.056.d, Methode pH-C, Version 2008* (Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten) (Ausg. 1996.). Zürich-Reckenholz : Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau, FAP [etc.].
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, W. G., Agroscope FAL Reckenholz, E. F. für A. und L. & Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins. (1996b). *Schweizerische Referenzmethoden der der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1, E1.056.d, Methode H2O10-Ex, Version 2012* (Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten) (Ausg. 1996.). Zürich-Reckenholz : Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau, FAP [etc.].
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, W. G., Agroscope FAL Reckenholz, E. F. für A. und L. & Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins. (1996c). *Schweizerische Referenzmethoden der der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1, E1.056.d, Methode H2O10-K, H2O10-Mg, H2O10-Ca, Version 2012* (Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten) (Ausg. 1996.). Zürich-Reckenholz : Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau, FAP [etc.].
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, W. G., Agroscope FAL Reckenholz, E. F. für A. und L. & Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins. (1996d). *Schweizerische Referenzmethoden der der Forschungsanstalten Agroscope, Band 1, E1.056.d, Methode H2O10-P, Version 2012* (Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten) (Ausg. 1996.). Zürich-Reckenholz : Eidg. Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau, FAP [etc.].
- Geerts, P. (2016). *Un potager et des vignes sur un toit de la mairie de Paris*. Zugriff am 28.3.2019. Verfügbar unter: <https://cgconcept.fr/un-potager-et-des-vignes-sur-un-toit-la-mairie-paris/>
- GEOINFO IT AG. (2019). *Geoportal: Amtliche Vermessung Gde*. Zugriff am 13.4.2019. Verfügbar unter: <https://www.geoportal.ch/ktsg>
- Gisi, U. (Hrsg.). (1997). *Bodenökologie: 51 Tabellen* (Bücher Biowissenschaften) (2., neu bearb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Granacher, E. (2011). *Orchideen auf Flachdächern Eine Analyse der Flachdächer des Kantonsspital St. Gallen*. Semesterarbeit. unveröffentlicht: ZHAW Wädenswil.
- Hofmann, U. & Köpfer, P. (Hrsg.). (2014). *Biologischer Weinbau* (Rebe & Wein). Stuttgart: Ulmer.
- Klimadiagramme und Normwerte pro Station: St. Gallen. (2016). Zugriff am 5.1.2019. Verfügbar unter: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/klima-normwerte/klimadiagramme-und-normwerte-pro-station.html?station=stg>

-
- Küchler. (2017). *VegeDaz (Version 2017)*. Zugriff am 8.2.2019. Verfügbar unter:
<https://www.wsl.ch/de/services-und-produkte/software-websites-und-apps/vegedaz-version-2017.html>
- Kulli, B., Matile, L., Berger, R., Mathis, A. & Daniel, O. (2015). SKRIPT Bodenkunde Umweltingenieurwesen 1. und 2. Semester. ZHAW Wädenswil, unveröffentlicht.
- Landolt, E. (2001). Orchideen-Wiesen in Wollishofen (Zürich) - ein erstaunliches Relikt aus dem Anfang des 20. Jahrhunderts. *Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, (146/2–3).
- Landolt, E., Bäumler, B. & Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève (Hrsg.). (2010). *Flora indicativa: ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen = Ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps* (2., völlig neu bearb. und erw. Aufl.). Bern: Haupt.
- Lauber, K., Wagner, G. & Gygax, A. (2018). *Flora Helvetica: illustrierte Flora der Schweiz: mit Artbeschreibungen und Verbreitungskarten von 3200 wild wachsenden Farn- und Blütenpflanzen, einschliesslich wichtiger Kulturpflanzen. Hauptband: ...* (6., vollständig überarbeitete Auflage.). Bern: Haupt Verlag.
- Markus Hardegger. (2019a, März 11). mündliche Mitteilung.
- Markus Hardegger. (2019b, April 4). schriftliche Mitteilung.
- Montreal Convention Center. (2019). *Urban Agriculture Lab of the Palais des congrès de Montréal*. Zugriff am 28.3.2019. Verfügbar unter: <https://congresmtl.com/en/convention-center/sustainable-development/urban-agricultural-lab-of-the-palais-congres-de-montreal/>
- Müller, E. (Hrsg.). (1999). *Der Winzer. 1: Weinbau* (2. Aufl.).
- Ogermann, P. (1999). *Biologische Bodenaktivität, Kohlenstoffumsatz und Nährstoffversorgung auf Magerrasen-Standorten unterschiedlicher Produktivität*. Basel : Departement für Geographie der Universität Basel.
- Potager de l'Hotel de Ville de Paris - Marie Laurence Cattoire relations presse. (2018). Zugriff am 28.3.2019. Verfügbar unter: <http://www.cattoire.com/potager-de-l-hotel-de-ville-de>
- Richner, W., Sinaj, S., Carlen, C., Flisch, R., Gilli, C., Huguenin-Elie, O. et al. (2017). Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz: GRUD 2017. *GRUD*.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Horn, R., Kandeler, E. et al. (2010). *Lehrbuch der Bodenkunde* (16. Auflage.). Heidelberg: Springer, Spektrum, Akademischer Verlag.
- Schneider, R. (2010). Pflanzenliste. ZHAW Wädenswil, unveröffentlicht.
- Speck, M. & Brenneisen, S. (2014). *Die Blauflügelige Sandschrecke (Sphingonotus Caerulans) auf den extensiv begrünten Dächern der Europa-Allee Zürich*. (S. 18). Zürich.
- Switzerland Interactive Plant Hardiness Zone Map. (2018, Januar 1). . Zugriff am 10.5.2018. Verfügbar unter: <http://www.plantmaps.com/interactive-switzerland-plant-hardiness-zone-map-celsius.php>

-
- Universität Zürich. (2018). *Kruskal-Wallis-Test*. Zugriff am 3.4.2019. Verfügbar unter:
https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral/kruskal.html
- Vigne de Montmartre. (2018). . Zugriff am 28.3.2019. Verfügbar unter:
https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Vigne_de_Montmartre&oldid=153921847
- Wartmann, B. A. (2008). *Die Orchideen der Schweiz: ein Feldführer*. Bern: Haupt.
- Weinbau in Wien. (2018, Mai 6). . Zugriff am 28.3.2019. Verfügbar unter:
https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Weinbau_in_Wien&oldid=177201510
- Ziegler, B. (2011). *REBENDÜNGUNG*. 67435 Neustadt/W.: Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum – Rheinpfalz.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Flachbogenerziehung (Quelle: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) 2019).....	9
Abbildung 2: Standort KHK St. Gallen, roter Kreis (Quelle: GEOINFO IT AG 2019).....	10
Abbildung 3: Orthofoto Standort KHK St. Gallen, roter Kreis (Quelle: GEOINFO IT AG 2019).....	11
Abbildung 4: Lebensräume und Teilflächen (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor)	13
Abbildung 5: Kleinstrukturen (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor)	14
Abbildung 6: Anordnung Rebtröge mit Sortenangabe (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor).....	15
Abbildung 7: Entnahmestellen Substratproben (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor).....	16
Abbildung 8: Vegetationsring	19
Abbildung 9: Auslegestandorte Vegetationsringe (Quelle: Brunner 2018, verändert durch Autor) .	20
Abbildung 10: Kreuz der gebogenen Tragrute.....	21
Abbildung 11: Deckungsgrad Vegetation beim Lebensraum Orchideenweise trocken	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Charakteristische Eigenschaften der Lebensräume.....	12
Tabelle 2: Mittelwerte Gehalt Kohlenstoff (Corg) und Stickstoff (N) pro Lebensraum (LR) in [%]... 23	23
Tabelle 3: Mittelwerte Elementgehalte der RFA [mg/kg]. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot), Rebgarten (RG), Rebtröge (RT). BU: < Bestimmungsgrenze; NU: < Nachweisuntergrenze	25
Tabelle 4: Korngrößenverteilung und Bodentyp pro Lebensraum	28
Tabelle 5: Gesamtliste aller erfassten Gefässpflanzen auf dem Dach des KHK St. Gallen	32
Tabelle 6: Gesamtdeckungsgrad der Vegetation und die fünf häufigsten Arten inklusive deren Deckungsgrad je aufgenommener Kreisfläche.....	33
Tabelle 7: Zeigerwerte pro aufgenommene Kreisfläche (KF). Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot).	34
Tabelle 8: Zeigerwerte pro Lebensraum. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot).....	35
Tabelle 9: Zeigerwerte auffällige Pflanzen ausserhalb Kreisflächen (AP). Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese schattig (Os)	36
Tabelle 10: Zeigerwerte Pflanzen in Rebtrögen (RT)	37
Tabelle 11: Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. für aufgenommene Kreisflächen 1 und 2. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot).	38
Tabelle 12: Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. pro Lebensraum. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot)	39
Tabelle 13: Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. für auffällige Pflanzen ausserhalb der Kreisflächen (AP). Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese schattig (Os).....	39

**Duales Dachbegrünungssystem
'Orchideenwiesen und Weinanbau übereinander'**

Tabelle 14 Lebensraumeinheiten nach Delarze et al. für Rebtröge (RT)	39
Tabelle 15: Jaccard-Koeffizient Kreisflächen. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot)	40
Tabelle 16: Van-der-Maarel-Koeffizient Kreisflächen. Magerwiese Oberboden (MO), Magerwiese Unterboden (MU), Magerwiese Kies-Oberboden (MW), Orchideenwiese feucht (Of), Orchideenwiese schattig (Os), Orchideenwiese trocken (Ot)	41
Tabelle 17: Zeigerwerte Zielarten, blau Lebensraumeinheit Molinion, gelb Lebensraumeinheit Mesobromion. F = Feuchtezahl, R = Reaktionszahl, N = Nährstoffzahl, L = Lichtzahl, T = Temperaturzahl, K = Kontinentalitätszahl.....	47

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: pH-Wert pro Lebensraum	22
Diagramm 2: Leitfähigkeit pro Lebensraum.....	23
Diagramm 3: C-N-Verhältnis pro Lebensraum	24
Diagramm 4: Humusgehalt [%] pro Lebensraum.....	24
Diagramm 5: Kalium [mg/kg Boden] pro Lebensraum	26
Diagramm 6: Calcium [mg/kg Boden] pro Lebensraum	27
Diagramm 7: Magnesium [mg/kg Boden] pro Lebensraum.....	27
Diagramm 8: Phosphor [mg/kg Boden] pro Lebensraum.....	28
Diagramm 9: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Magerwiese Oberboden.....	29
Diagramm 10: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Magerwiese Unterboden	29
Diagramm 11: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Magerwiese Kies-Oberboden.....	29
Diagramm 12: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Orchideenwiese feucht.....	29
Diagramm 13: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Orchideenwiese schattig	30
Diagramm 14: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Orchideenwiese trocken.....	30
Diagramm 15: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Rebgarten	30
Diagramm 16: Anteil Feinerde und Skelett Lebensraum Rebtröge	30
Diagramm 17: Anteil Reben mit Wachstums-depression über alle Sorten aus gesehen.....	42
Diagramm 18: Anteil Reben mit Wachstums-depression bei der Sorte Aurora	42
Diagramm 19: Anteil Reben mit Wachstums-depression bei der Sorte Excelsior	43
Diagramm 20: Anteil Reben mit Wachstums-depression bei der Sorte Solaris.....	43
Diagramm 21: Anteil Reben mit Wachstums-depression bei der Sorte Triumph v. Elsass	43
Diagramm 22: Anteil Reben mit Wachstums-depression bei der Sorte Verdelet	43

Anhang

- I Ausführungsplan Dachgartengestaltung
- II Portraits Traubensorten
- III Dokument «SOP-UI1356a»
- IV Dokument «SOP-UI1311c»
- V Bilder zu allen aufgenommenen Kreisflächen (KF)
- VI Rohdaten pH-Wert Leitfähigkeit
- VII Rohdaten CHN Messung
- VIII Rohdaten RFA
- IX Bilder von erfassten Arten
- X Rohdaten der Vegetationsaufnahmen
- XI Legende Zeigerwerte nach Landolt
- XII Statistische Auswertungen der Zeigerwerte
- XIII Tabellen Triebblängen der Reben
- XIV Plagiatserklärung