

Innenraumbegrünung

– Untersuchung der Eignung unterschiedlicher Substratvarianten für die Innenraumbegrünung anhand eines Vegetationsmonitorings ausgewählter Indikatorpflanzen und spezifischer Laboruntersuchungen.



Indoor-greenery

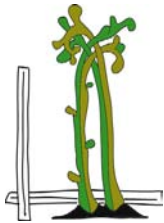
– Vegetation monitoring and laboratory analyses of different substrate-variants on their aptitude for indoor greenery.

Innenraumbegrünung

– Untersuchung der Eignung unterschiedlicher Substratvarianten für die Innenraumbegrünung anhand eines Vegetationsmonitorings ausgewählter Indikatorpflanzen und spezifischer Laboruntersuchungen.

Indoor-greenery

– Vegetation monitoring and laboratory analyses of different substrate-variants on their aptitude for indoor greenery.



Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien,
Department für Bautechnik und Naturgefahren,
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau



von: **Irene ZLUWA** (h0106867)

Betreuung: **O. Univ. Prof. Dr. Florin FLORINETH,**
Univ.Ass.Dipl.-Ing. Dr. Ulrike PITHA
Dipl.-Ing. Bernhard SCHARF

Wien, Juli 2013

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	9
Kurzfassung	11
Abstract	13
1. Einleitung, Fragestellung und Aufbau der Masterarbeit	15
2. Stand der Technik	17
2.1. Geschichte der Innenraumbegrünung	17
2.2. Relevante Regelwerke und Normen	19
2.3. Funktionen und Wirkungen von Innenraumbegrünung	20
2.3.1. Einflüsse auf die Raumeigenschaften	20
2.3.2. Auswirkungen auf das Wohlbefinden des Menschen	20
2.3.3. Gestalterische Funktionen	20
2.4. Begrünungssysteme	21
2.5. Voraussetzungen für eine gelungene Innenraumbegrünung	22
2.5.1. Standortfaktor Raumklima	22
2.5.2. Standortfaktor Licht	22
2.5.3. Standortfaktor Bodenfeuchte	23
2.5.4. Standortfaktor Nährstoffversorgung	23
2.5.5. Standortfaktor Boden/Substrat	24
3. Beschreibung der zu untersuchenden Substratvarianten	25
3.1. Natürlich gebrannter Ton (C)	25
3.2. Blähtongranulat (S)	26
3.3. Blähtonkugeln (B)	26
3.4. torffreie Blumenerde (E)	26
4. Versuchsaufbau und Zeigerpflanzen	27
4.1. Beschreibung des Versuchsaufbaues	27
4.2. Beschreibung der Zeigerpflanzen	29
4.2.1. <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' (Grünlilie)	29
4.2.2. <i>Crassula ovata</i> (Geldbaum)	30
4.2.3. <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc' (Einblatt)	31
4.2.4. <i>Cyperus alternifolius</i> = <i>Cyperus involucratus</i> (Zypergras)	32
5. Untersuchte vegetationstechnische Parameter und Ergebnisse	33
5.1. Vitalität	33
5.1.1. Methode zur Bestimmung der Vitalität	33
5.1.2. Ergebnisse der Vitalitätsbestimmung für <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	34
5.1.3. Ergebnisse der Vitalitätsbestimmung für <i>Crassula ovata</i>	35
5.1.4. Ergebnisse der Vitalitätsbestimmung für <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc'	37
5.1.5. Ergebnisse der Vitalitätsbestimmung für <i>Cyperus alternifolius</i>	38
5.2. Wuchslänge	39
5.2.1. Methode zur Bestimmung der Wuchslänge	39
5.2.2. Ergebnisse der Wuchslängenmessung bei <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	40
5.2.3. Ergebnisse der Wuchslängenmessung bei <i>Crassula ovata</i>	41
5.2.4. Ergebnisse der Wuchslängenmessung bei <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc'	42
5.2.5. Ergebnisse der Wuchslängenmessung bei <i>Cyperus alternifolius</i>	43
5.3. Infloreszenz bei <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	44
5.3.1. Methode zur Bestimmung der Infloreszenz	44
5.3.2. Ergebnisse zur Infloreszenz	44
5.4. Blattfestigkeit bei <i>Crassula ovata</i>	45
5.4.1. Methode zur Bestimmung der Blattfestigkeit bei <i>Crassula ovata</i>	45
5.4.2. Ergebnisse der Bestimmung der Blattfestigkeit bei <i>Crassula ovata</i>	45

5.5.	Biomasse	47
5.5.1.	Methode zur Bestimmung der Biomasse	47
5.5.2.	Ergebnisse zur Biomasse bei <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in frischem Zustand	48
5.5.3.	Ergebnisse zur Biomasse bei <i>Crassula ovata</i> in frischem Zustand	53
5.5.4.	Ergebnisse zur Biomasse bei <i>Cyperus alternifolius</i> in frischem Zustand	57
5.6.	Fotometrische Ermittlung des Pflanzenvolumens	61
5.6.1.	Methodik der fotometrischen Ermittlung des Pflanzenvolumens	61
5.6.2.	Ergebnisse der fotometrischen Ermittlung des Pflanzenvolumens bei <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	64
5.6.3.	Ergebnisse der fotometrischen Ermittlung des Pflanzenvolumens bei <i>Crassula ovata</i>	65
5.7.	Überblick über ausgewählte vegetationstechnische Parameter	67
6.	Untersuchung der chemischen und physikalischen Materialeigenschaften	69
6.1.	Anforderungen an Innenraumsubstrate	69
6.2.	Vorgehensweise zur Erfassung der geforderten Kriterien	69
7.	Erhobene physikalisch - chemische Parameter und Ergebnisse	70
7.1.	Setzungsverhalten	70
7.1.1.	Methode zur Ermittlung der Setzungstiefe	70
7.1.2.	Ergebnisse zur Setzungstiefe	70
7.2.	Schüttdichte	72
7.2.1.	Methode zur Ermittlung der Schüttdichte	72
7.2.2.	Ergebnisse zur Schüttdichte	72
7.3.	Wasserkapazität	73
7.3.1.	Methode zur Ermittlung der Wasserkapazität	73
7.3.2.	Ergebnisse zur Wasserkapazität	73
7.4.	Volumetrischer Wassergehalt	74
7.4.1.	Methode zur Ermittlung des volumetrischen Wassergehaltes	74
7.4.2.	Ergebnisse zum volumetrischen Wassergehalt	74
7.5.	pH-Wert	76
7.5.1.	Methode zur Ermittlung des pH-Wertes	76
7.5.2.	Ergebnisse zum pH-Wert	77
7.6.	Nährstoffgehalt: P (Phosphor)	79
7.6.1.	Methode zur Ermittlung des P-Gehalts	79
7.6.2.	Ergebnisse zum P-Gehalt	80
7.7.	Nährstoffgehalt: K (Kalium)	82
7.7.1.	Methode zur Ermittlung des Kaliumgehalts	82
7.7.2.	Ergebnisse zum Kaliumgehalt	82
7.8.	Nährstoffgehalt: Kohlenstoff/Stickstoffverhältnis (C/N-Verhältnis)	84
7.8.1.	Methode zur Ermittlung des C/N-Verhältnisses	84
7.8.2.	Ergebnisse zum C/N-Verhältnis	84
7.9.	Salzgehalt	86
7.9.1.	Methode zur Ermittlung des Salzgehalts	86
7.9.2.	Ergebnisse zum Salzgehalt	86
7.10.	Überblick über ausgewählte physikalisch - chemische Parameter	88
8.	Zusammenfassung der Ergebnisse, Bewertung und Empfehlung	91
8.1.	Überblick der Ergebnisse in Form einer Mastermatrix	92
8.2.	Zusammenfassende Bewertung der untersuchten Substratvarianten	93
8.2.1.	Natürlich gebrannter Ton in der Körnung 0/3 (C 0/3)	93
8.2.2.	Natürlich gebrannter Ton in der Körnung 0/12 (C 0/12)	95
8.2.3.	Natürlich gebrannter Ton in der Körnung 3/12 (C 3/12)	97

	8.2.4. Natürlich gebrannter Ton in der Körnung 2/4 (C 2/4)	98
	8.2.5. Blähtongranulat (S)	100
	8.2.6. Blähtonkugeln (B)	102
	8.2.7. Torffreie Blumenerde (E)	103
	8.3. Empfehlung	105
9.	Ausblick	107
	9.1. Anmerkungen zum Parameter Vitalität	107
	9.2. Anmerkungen zur Wuchslänge	107
	9.3. Anmerkungen zur Infloreszenz	107
	9.4. Anmerkungen zur Bestimmung der Biomasse	108
	9.5. Anmerkungen zur fotometrischen Pflanzenvolumenbestimmung	109
	9.6. Anmerkungen zur Schüttdichte	110
	9.7. Anmerkungen zu den Nährstoffuntersuchungen	110
	9.8. Persönliche Anmerkung	111
10.	Literaturverzeichnis	113
11.	Abbildungsverzeichnis	116
12.	Tabellenverzeichnis	118
13.	Anhang	123
	13.1. Anforderungen an die vegetationstechnischen Eigenschaften von Substraten für die Innenraumbegrünung nach FLL-Richtlinien (2011)	123
	13.1.1. Anforderungen an rein mineralische Substrate	123
	13.1.2. Anforderungen an mineralisch-organische Substrate	124
	13.1.3. Anforderungen an Substrate für Hydrokultur	125
	13.2. Boniturprotokolle	126
	13.2.1. Boniturprotokolle von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	126
	13.2.2. Boniturprotokolle von <i>Crassula ovata</i>	129
	13.2.3. Boniturprotokolle von <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc'	132
	13.2.4. Boniturprotokolle von <i>Cyperus alternifolius</i>	133
	13.3. Aufnahmeprotokolle Biomasse	134
	13.3.1. Aufnahmeprotokolle Biomasse der Referenzpflanzen von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	134
	13.3.2. Aufnahmeprotokolle Biomasse bei Endabnahme von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	135
	13.3.3. Aufnahmeprotokolle Biomasse der Referenzpflanzen von <i>Crassula ovata</i>	139
	13.3.4. Aufnahmeprotokolle Biomasse bei Endabnahme von <i>Crassula ovata</i>	140
	13.3.5. Aufnahmeprotokolle Biomasse der Referenzpflanzen von <i>Cyperus alternifolius</i>	144
	13.3.6. Aufnahmeprotokolle Biomasse bei Endabnahme von <i>Cyperus alternifolius</i>	145
	13.4. Ergebnisse der Bestimmung der Biomasse in getrocknetem Zustand	150
	13.4.1. Ergebnisse der Bestimmung der Biomasse bei <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in getrocknetem Zustand	150
	13.4.2. Ergebnisse der Bestimmung der Biomasse bei <i>Crassula ovata</i> in getrocknetem Zustand	152
	13.4.3. Ergebnisse der Bestimmung der Biomasse bei <i>Cyperus alternifolius</i> in getrocknetem Zustand	153
	13.5. Aufnahmeprotokolle und fotometrische Berechnung des Pflanzenvolumens	154
	13.5.1. Aufnahmeprotokoll Fotometrie <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	154
	13.5.2. Fotometrische Pflanzenvolumenberechnung <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	155

	13.5.3. Aufnahmeprotokoll Fotometrie <i>Crassula ovata</i>	156
	13.5.4. Fotometrische Pflanzenvolumenberechnung <i>Crassula ovata</i>	157
14.	Curriculum vitae	159

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben:

Allen voran gilt mein Dank Herrn Professor Florin Florineth, der durch seine mitreißenden Vorlesungen mein Interesse auf das Thema Vegetationstechnik gelenkt hat.

Ganz besonders bedanke ich mich auch bei meinen Betreuern Uli Pitha und Bernhard Scharf. Ich habe mich während der Erstellung dieser Arbeit immer gut umsorgt gefühlt.

Unbedingt erwähnen muss ich auch Vera Enzi, die durch ihre Aufmerksamkeit meine Versuchspflanzen vor dem Ertrinken gerettet hat. Letztlich gilt mein Dank überhaupt allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. In angenehmer und kollegialer Atmosphäre habe ich in vielen Gesprächen eine Reihe von Anregungen erhalten.

Herr Ass. Prof. Axel Mentler vom Institut für Bodenkunde hat mir mit unglaublicher Geduld und pädagogischer Finesse die Interpretation der pH-Wert-Messungen sowie der Nährstoffanalysen nähergebracht. Auch bei ihm und seinem Team bedanke ich mich herzlich.

Abschließend gilt mein besonderer Dank noch meinen Eltern für ihre Unterstützung in jeglicher Hinsicht, wie auch speziell für ihr Engagement beim Korrekturlesen.

Kurzfassung

Ein gesundes Raumklima, ein Arbeits- und Wohnumfeld, in dem man sich wohlfühlen kann: Innenraumbegrünungen sind mehr denn je ein Thema, das unseren Lebensalltag betrifft. Laufend erweitert sich die Palette an Pflanzen, Begrünungssystemen und Substraten, die von den Unternehmen den interessierten Konsumenten angeboten werden. Um funktionierende Produkte zu entwickeln zu können, spielt einschlägige Forschung eine wichtige Rolle für die Unternehmen.

Aus einem Forschungsauftrag an das Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur Wien entstammt auch die Fragestellung dieser Masterarbeit, in der ein neues Innenraumbegrünungssubstrat aus natürlich gebranntem Ton (Substratvariante C) untersucht werden soll:

Welche Körnungen des zu testenden neuen Substrates aus natürlich gebranntem Ton eignen sich am besten für die Innenraumbegrünung und wie verhält sich dieses Substrat im Vergleich zu bereits im Handel etablierten Substraten?

Um diesen Fragestellungen nachgehen zu können wurden die Untersuchungen in zwei Blöcke gegliedert:

1) Ein vegetationstechnisches Monitoring, bei dem ein Versuchssetup aufgesetzt wird, in dem drei Zeigerpflanzen (für trockene, moderate und frische Standorte) in den vier zu untersuchenden Körnungen (C 0/3, C 0/12, C 3/12, C 2/4) im Vergleich zu den drei Referenzsubstraten Blähtonkugeln (B), Blähtongranulat (S) und torffreie Blumenerde (E), beobachtet werden. Dabei werden folgende Parameter aufgenommen: Vitalität der Pflanzen, Wuchslänge, Infloreszenz, Blattfestigkeit. Nach einem halben Jahr wurde die entstandene Biomasse der Versuchspflanzen sowohl gravimetrisch als auch fotometrisch erhoben.

2) Ergänzend zum Monitoring werden Laboruntersuchungen durchgeführt, in denen Setzungsverhalten, Schüttdichte, Wasserkapazität, volumetrischer Wassergehalt, der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit, sowie die Nährstoffgehalte an Phosphor, Kalium und Stickstoff ermittelt werden.

Die Untersuchungen haben folgende Ergebnisse gezeigt:

Unter den untersuchten mineralischen Substraten liefert die Substratvariante C mit der Körnung 2/4 die besten Ergebnisse. Bei den in den Laboruntersuchungen ermittelten Werten befindet sich diese Substratvariante in allen Punkten außer der Wasserkapazität innerhalb der von den FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung geforderten Grenzwerte. Die Nährstoffanalysen haben aber auch aufgezeigt, dass sich im Substrat selbst wenig Nährstoffe befinden, weshalb für die Etablierung im Handel jedenfalls Düngung notwendig ist

Die Substratvarianten C 0/3 und C 0/12 werden als wenig geeignet empfunden, da sich der hohe Feinkornanteil offensichtlich negativ auf das Pflanzenwachstum auswirkt. Auch bei den Laboruntersuchungen überschreitet die Substratvariante C 0/3 bei der elektrischen Leitfähigkeit die Höchstgrenze.

Die Substratvariante E (torffreie Blumenerde) nimmt in allen Parametern eine Sonderstellung ein, da dies die einzige organische Variante ist. Sie ist daher im Vergleich differenziert zu betrachten.

Im Hinblick auf zukünftige Forschung kann festgehalten werden, dass sich die erstmals angewendete Methode der fotometrischen Pflanzenvolumenbestimmung weitestens mit den gravimetrischen Erhebungen zur Biomasse deckt und viel Potential mit sich trägt.

Auch die Kombination aus vegetationstechnischem Monitoring und Laboruntersuchungen erweist sich als sehr günstig. So wurden in diesen Untersuchungen Annahmen, die aus den Beobachtungen im vegetationstechnischen Monitoring entstanden sind, in den Laboruntersuchungen bestätigt. Andererseits können Werte zur Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe überprüft werden. Im Fall der Substratvariante S (Blähtongranulat) beispielsweise wurde in den Laboruntersuchungen im unbepflanzten Substrat ein sehr hoher Wert an (vermeintlich pflanzenverfügbarem) Kalium ermittelt. Die Laboruntersuchungen nach einem halben Jahr Bepflanzung zeigen jedoch, dass sich der Wert innerhalb der Versuchslaufzeit nicht verändert hat. Das Kalium dürfte in dieser Substratvariante so gebunden sein, dass es für die Pflanze nicht mobilisierbar war.

Es ist daher zu empfehlen, bei Untersuchungen dieser Art sowohl Laboruntersuchungen, als auch die Beobachtung der Pflanzenentwicklung in Form eines vegetationstechnischen Monitorings anzuwenden und dadurch eine ganzheitliche Betrachtungsweise sicherzustellen.

Eine genaue Untersuchung und Erforschung von Innenraumbegrünungssubstraten ist als Grundlage für eine nachhaltige Innenraumbegrünung unerlässlich.

Abstract

Indoor-greenery

- Vegetation monitoring and laboratory analyses of different substrate-variants on their aptitude for indoor greenery.

Due to the increasing popularity of indoor greenery and the accompanying market release of related products, the University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna investigated four substrate-variants suitable for indoor greenery (naturally fired clay, different in grain sizes) in comparison to three already well established products (expanded clay pellets, expanded clay granulate and peat free potting soil).

To get a significant result, two types of methods were combined:

1) A vegetation monitoring over six months of three indicator-plants (for dry, moderate and moist habitats) planted in the seven substrate variants. Investigated parameters are: Vitality, length of sprouts, florescence, compressive strength and biomass (measured in a gravimetric and photometric way).

2) To supplement the data, laboratory analyses were made to gather the chemical and physical attributes of the different substrates. Tested parameters are: settlement capacity, bulk density, water holding capacity, pH-value, salinity and nutrient levels of P, N, K.

Naturally fired clay in grain size 2/4 shows the best results. It is suggested to develop a fertilizing strategy to improve the growing performance and vitality of the plants.

The tested substrates, with grain size of 0/3 and 0/12 are not suitable due to their high proportion of fines.

The combination of different methodologies (empiric vegetation monitoring and laboratory analyses) facilitated a holistic view on the subject and allowed to avoid misinterpretations. The comprehensive investigation and development of indoor greenery substrates are decisive as foundation of sustainable successful indoor greenery.

1. Einleitung, Fragestellung und Aufbau der Masterarbeit

Pflanzen sind in unseren heutigen Innenräumen nicht mehr wegzudenken. Ihre positiven Auswirkungen auf Wohlbefinden und Raumklima machen sie zu gerne gesehenen Begleitern in unserem Wohn- und Arbeitsumfeld. Doch damit die Pflanzen unser Wohlergehen verbessern können, müssen auch wir Menschen über ihre Anforderungen Bescheid wissen. Denn nur an einem geeigneten Standort und unter Bedingungen, bei denen sich die Pflanze wohlfühlt, kann sie sich zufriedenstellend entwickeln.

“Ein Standort kann dann als geeignet für eine Pflanze gelten, wenn sie dort bei normalem Pflegeaufwand langfristig gut gedeiht und vital erscheint.” (VOLM, 2002, S. 40).

Die Bedingungen für einen Pflanzenstandort können in abiotische und biotische Faktoren unterteilt werden. Die biotischen Faktoren umfassen Pflanzen, Tiere und (besonders in der Innenraumbegrünung) Menschen sowie Mikroorganismen als Konkurrenten, Symbionten, oder Parasiten, die der Pflanze Hilfestellung leisten oder ihr die Wuchsbedingungen erschweren.

Die abiotischen Faktoren werden in physikalische und chemische unterschieden. Zu den chemischen Faktoren zählen das Vorhandensein (beziehungsweise die Verfügbarkeit) chemischer Stoffe wie Sauerstoff, Kohlendioxid, Stickstoff, Salz sowie diverse Immissionen und Pflanzenschutzmittel etc. Physikalischen Faktoren sind das Klima (Temperatur, Strahlung, Luftturbulenzen, die vorhandene (Luft-)feuchtigkeit) und der Boden, der je nach Struktur, Substrat, Nährstoffgehalt, Sorptionsvermögen, und Acidität (Säuregehalt) wiederum die chemischen Faktoren, sowie den Wasserhaushalt beeinflusst (VOLM, 2002).

In der Innenraumbegrünung spricht man nicht von Böden (diese sind gewachsene Naturkörper) sondern von Substraten. Substrate sind *“... Stoffe oder Stoffgemische, die den Pflanzen in bodenunabhängigen Anwendungen als Wurzelraum dienen, ...”* (FLL, 2011, S.19). Bevorzugt werden in der Innenraumbegrünung Substrate mineralischem Ursprungs. Organische Materialien haben aus hygienischen Gründen (aufgrund der Anfälligkeit für Sporen und Keime) in der professionellen Innenraumbegrünung eine untergeordnete Bedeutung und finden meist nur mehr im Hausgebrauch Verwendung (FLL, 2011).

Die Klimafaktoren können in der Innenraumbegrünung durch den Menschen mittels Zusatzbeleuchtung, Heizung beziehungsweise Kühlung, Luftbefeuchtung und Bewässerung geregelt werden. Die Eigenschaften des Stoffes allerdings, in dem die Pflanze wachsen soll, können nachträglich nur mehr sehr schwer beeinflusst werden. Umso wichtiger ist es, dass in diesem Punkt alle Anforderungen bereits vom Hersteller erkannt und erfüllt werden.

Ausgangspunkt vorliegender Arbeit war folgender Sachverhalt:

Ein österreichisches Unternehmen hatte die Absicht, einen natürlichen Hartbrand (natürlich gebrannten Ton) als Innenraumbegrünungssubstrat auf den Markt zu bringen und beauftragte das Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur Wien mit der Prüfung und eingehenden Untersuchung von ausgewählten in Frage kommenden Substratvarianten hinsichtlich der Eignung als Innenraumbegrünungssubstrat.

Auf dieser Untersuchung, an der die Verfasserin mitgewirkt hat, baut vorliegende Masterarbeit auf.

Folgende **Fragestellung** wurde gewählt:

Welche Körnungen des zu testenden Substrates aus natürlich gebranntem Ton – im Folgenden als “Substratvariante C” bezeichnet – eignen sich am besten für die Innenraumbegrünung und wie verhält sich dieses Substrat im Vergleich zu bereits im Handel etablierten Substraten?

Ziel ist eine wissenschaftliche Untersuchung des Substrats C auf seine Tauglichkeit als Pflanzsubstrat für Innenraumbegrünung. Im Versuch werden zu diesem Zweck vier verschiedene C-Substrate (mit unterschiedlicher Korngrößenverteilung) im Vergleich mit den Referenzsubstraten Blähtonkugeln (Substratvariante B), Blähtongranulat (Substratvariante S) und torffreie Blumenerde (Substratvariante E) getestet.

Der **Aufbau der Masterarbeit** ist folgender:

Zunächst wird der Stand der Technik dargestellt (Kapitel 2). Nach einer kurzen Einführung zur Geschichte der Innenraumbegrünung und der Vorstellung der verwendeten Regelwerke folgt in diesem Kapitel eine Aufzählung der Funktionen und Wirkungen von Innenraumbegrünungen. Im Anschluss daran werden heute übliche Begrünungssysteme vorgestellt. Danach werden die einzelnen Faktoren für eine gelungene Innenraumbegrünung erörtert, indem die einzelnen Standortfaktoren wie Raumklima, Licht, Wasser und Nährstoffversorgung sowie der Standortfaktor Substrat beschrieben werden. Die tatsächlich untersuchten Substratvarianten werden im Kapitel 3 näher beschrieben. Im Kapitel 4 wird die Vorgehensweise beim Vegetationsmonitoring erklärt und die verwendeten Zeigerpflanzen vorgestellt. Im Anschluss werden die aufgenommenen Parameter und die erhobenen Ergebnisse erklärt. Kapitel 5 befasst sich mit den Laboruntersuchungen und den darin ermittelten chemisch-physikalischen Eigenschaften der untersuchten Substratvarianten. In der Zusammenfassung (Kapitel 6) werden die Ergebnisse sowohl in Form einer Mastermatrix als auch textlich dargestellt. Auch eine Empfehlung wird abgegeben. Anschließend daran werden in einem “Ausblick” (Kapitel 7), aufbauend auf den Ergebnissen der Untersuchung, Anregungen für künftige Forschungsarbeiten aufgezeigt.

2. Stand der Technik

In diesem Kapitel wird kurz auf die Geschichte der Innenraumbegrünung, auf die Anforderungen einer Pflanze an ihren Standort, auf verschiedene Begrünungssysteme und auf unterschiedliche in der Innenraumbegrünung verwendete Substrate eingegangen.

2.1. Geschichte der Innenraumbegrünung

“Es ist kaum zu glauben - aber der Ursprung der Zimmerpflanzenkultur liegt in Skandinavien, wo man seit altersher Pflanzen ins Haus holte, wenn die Öde des langen Winters begann.” (HEITZ, 1990, S. 19).

Im 16. Jahrhundert entstand an Königs- und Fürstenhöfen eine wahre Sammelleidenschaft für exotische Pflanzen. Um die empfindlichen Pflanzen in den Wintermonaten vor Kälte zu schützen, begann man ab Mitte des 16. Jahrhunderts Arkadengänge mit Papier oder gewachstem Leinen zu überkleben, der Vorläufer der “Orangerien” war geboren. Die erste eigentliche Orangerie, ein Gebäude aus massiven Mauern mit kleinen Glasfenstern, zur Beherbergung von Zitrusgewächsen entstand 1658 in Frankreich. Als Louis XIV einen Seitenflügel von Versailles als Orangerie (s. Abb. 1) bauen lies, löste er damit einen richtigen Trend beim Hofadel aus (VOLM, 2002). Durch die südliche Ausrichtung und die doppelten Fensterrahmen konnte die Temperatur im Winter zwischen 5 und 8° Celsius gehalten werden (SAULE, MEYER, 2000).

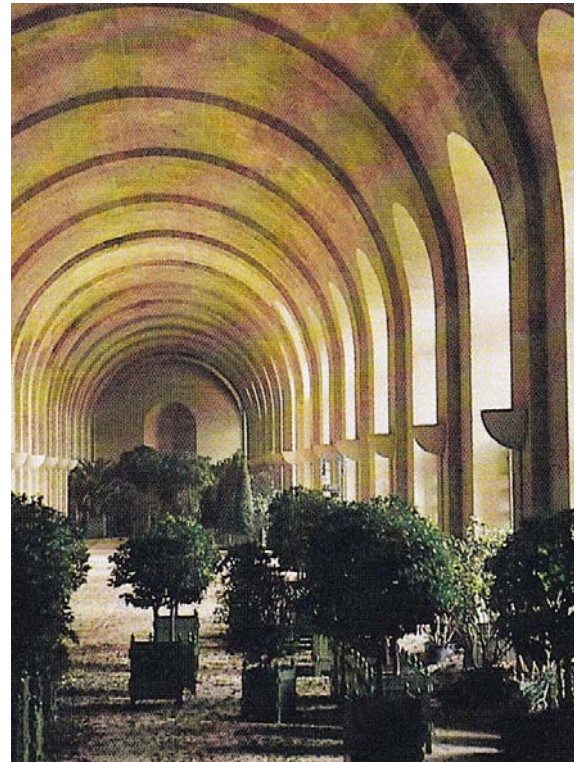


Abb.1. Orangerie in Versailles.
(Quelle: Saule, Meyer, 2000, S. 78).

Die erste Blütezeit der Innenraumbegrünung, wie wir sie heute kennen, begann im viktorianischen England des 19. Jahrhunderts (KERSTJENS, 1998). Durch Neuerungen in der Architektur und der Verbesserung der Baustoffe Gusseisen und Stahl konnten Wintergärten und Gewächshäuser gebaut werden (VOLM, 2002).

Auch die Transportbedingungen für die empfindlichen Pflanzen wurden erheblich verbessert, als der englische Arzt und Naturforscher Nathaniel Ward 1830 den “Ward’schen Kasten” (s. Abb. 2) erfand. Dabei handelt es sich um einen kleinen Glaskasten, der vollkommen geschlossen die Luftfeuchtigkeit hielt und gegebenenfalls mit Öllampen beheizt werden konnte (MEYER, 1897).



Abb.2. Ward’scher Kasten.
(Quelle: Ward, 1852, S. 71).

Mit Beginn des Ersten Weltkriegs wurde in Europa die Sammelleidenschaft für exotische Pflanzen gebremst.

Erst in den 1960-70er Jahren erlebte die Bepflanzung von Innenräumen durch Wiedereinführung von Wintergärten (die oftmals nur der Einsparung von Heizkosten dienten) einen Aufschwung (VOLM, 2002). Auch der von den USA ausgehende Durchbruch der Hydrokultur in den 1960er Jahren brachte große Neuerungen (MÜLLER, 1996). Seitdem werden Pflanzen im Haus immer wichtiger. Auch die technischen Bedingungen (Isolierglas, Beheizung, Belichtung, Luftfeuchteregulation etc.) werden zunehmend verbessert. Man trifft immer öfter in Hotels, Krankenhäusern, Einkaufszentren und Bürogebäuden, aber auch auf privaten Wohnflächen auf professionell geplante und gebaute "Innenlandschaften" (HENZE, 2001).

Nicht zuletzt neue Begrünungsformen, wie die von Patrick Blanc berühmt gemachten "Vertical Gardens" haben in letzter Zeit einen neuen Trend gesetzt und stellen völlig neue Anforderungen an die Technik.

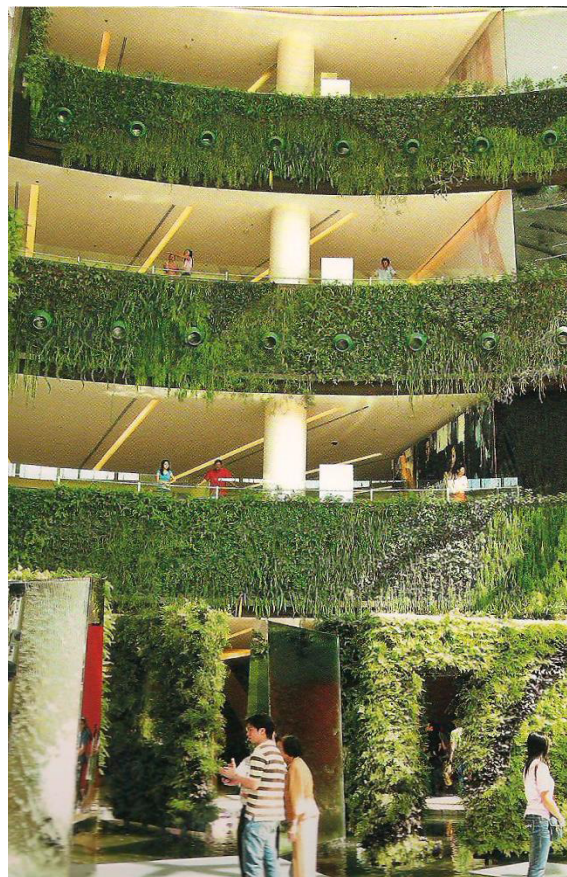


Abb.3. Grüne Wand (Patrick Blanc) in einem Einkaufszentrum in Siam. (Quelle: Blanc, 2009, S. 169)



Abb.4. Innenraumbegrünung (Weidlflein) im Hotel Daniel. (Quelle: <http://www.weidlflein.com>).

2.2. Relevante Regelwerke und Normen

Zum Thema Innenraumbegrünung existieren noch wenige Regelwerke. Kurz werden die in der vorliegenden Masterarbeit herangezogenen Werke vorgestellt.

- Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenräumen, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. Bonn (FLL, 2011):

Es handelt sich um eine Zusammenfassung "anerkannter Regeln der Technik", die als Empfehlung zur Vorgehensweise bei der Anlage von Innenraumbegrünungen zu sehen ist. Ihr Inhalt bezieht sich auf Funktion und Wirkung von Innenraumbegrünung, architektonische und bautechnische Anforderungen an den Pflanzenstandort, verschiedene Begrünungssysteme, Licht und Temperatur, technische Einrichtungen, Pflanzlisten, Pflanzarbeiten, Fertigstellungs- und Unterhaltungspflege und vertragsrechtliche Aspekte. Im weiteren Textverlauf wird dieses Regelwerk als "FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung" bezeichnet.

- Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft, herausgegeben vom österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (2006).

Diese Richtlinien wurden in vorliegender Arbeit zur Auslegung der Ergebnisse der Nährstoffanalysen verwendet, da in den FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung diesbezüglich nur wenig Informationen enthalten sind. Es ist dabei allerdings jedenfalls zu berücksichtigen, dass in der Innenraumbegrünung nicht maximaler Ertrag wie in der Landwirtschaft, sondern ein vitales Pflanzenbild erwünscht ist.

Für die Bodenuntersuchungen waren folgende Normen relevant:

Austrian Standards Institute (ASI)/ Österreichisches Normungsinstitut (ON)

- ÖNORM B 2606 (2009) Sportplatzbeläge.
Norm zur Bestimmung der Wasserkapazität
- ÖNORM L 1080 (1999) Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch trockene Verbrennung.
Norm zur Ermittlung des C/N-Verhältnisses.
- ÖNORM L 1083 (1999) Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Acidität (pH-Wert):
Norm zur Messung des potentiellen und aktuellen pH-Werts.
- ÖNORM L 1087 (2006) Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von "pflanzenverfügbarem" Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode.
Norm zur Bestimmung des P- und K-Gehalts.
- ÖNORM L 1092 (2005) Chemische Bodenuntersuchungen - Extraktion wasserlöslicher Elemente und Verbindungen.
Norm zur Messung des Salzgehalts.

2.3. Funktionen und Wirkungen von Innenraumbegrünung

Pflanzen beeinflussen einen Raum und deren Bewohner in vielerlei Hinsicht:

2.3.1. Einflüsse auf die Raumeigenschaften

- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit
- Reduktion von Schadstoffen wie Formaldehyd, Benzol und Nikotin.
- Produktion von Sauerstoff und Reduktion von Kohlendioxyd
- Schallreduktion
- Staubbindung
- Schattierung und Kühlung

(FLL, 2011; KERSTJENS, 1998; VOLM, 2002)

2.3.2. Auswirkungen auf das Wohlbefinden des Menschen

- positive Wirkung (durch oben genannte Einflüsse auf Raumeigenschaften) auf das Behaglichkeitsgefühl in Räumen
- Abschwächung des "Sick-Building-Syndroms"
- Naturerfahrung

(FLL, 2011; KERSTJENS, 1998; VOLM, 2002)

2.3.3. Gestalterische Funktionen

Innenraumbegrünungen nehmen auch gestalterische Funktionen ein. Einige Beispiele dafür sind:

- fließender Übergang zwischen Außen- und Innenraum
- raumgliedernde Funktion
- repräsentative Wirkung

(FLL, 2011; KERSTJENS, 1998; VOLM, 2002)

2.4. Begrünungssysteme

Innenraumbegrünungen können auf verschiedenste Arten in den Raum integriert werden.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen offenen und geschlossenen Bauweisen. Bei offenen Bauweisen sind die Behälter nach unten nicht abgedichtet. Überflüssiges Gießwasser kann daher ungehindert abfließen, was das System weniger anfällig für Gießfehler macht. Bei geschlossenen Bauweisen kann es zu einem Wasseranstau im Gefäß kommen (s. Abb. 5-7).

Der Substrataufbau in den Gefäßen kann einschichtig oder mehrschichtig erfolgen. Bei organischen Substraten ist aufgrund der Fäulnisgefahr von einem einschichtigen Aufbau in einem geschlossenen System abzuraten. Im mehrschichtigen Aufbau ist in der wasserführenden Schicht mineralisches Substrat zu verwenden, die Vegetationstragschicht kann auch aus mineralisch-organischem oder rein organischem Material bestehen. Gegebenenfalls ist eine Filterschicht einzubauen (FLL, 2011).

Als Sonderbauweisen finden in neuerer Zeit auch vertikale Begrünungen im Innenraum Einzug. Hier werden Ranksysteme, Regalsysteme, Modularsysteme und mobile Systeme unterschieden (FLL, 2011).

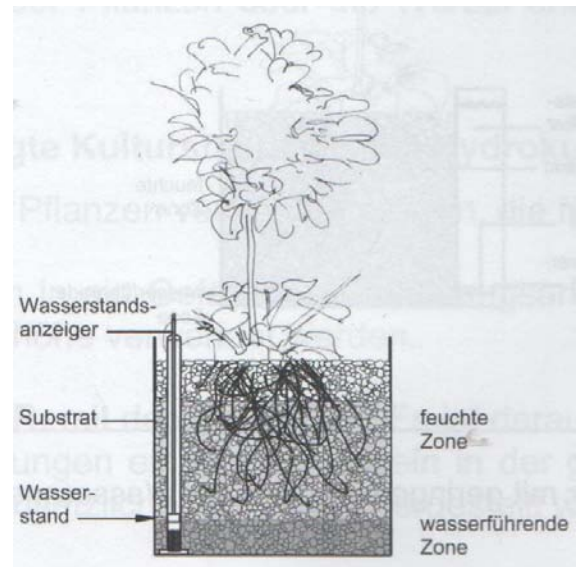


Abb.5. Wasseranstau im Schichtaufbau.
(Quelle: FLL, 2011, S.21).

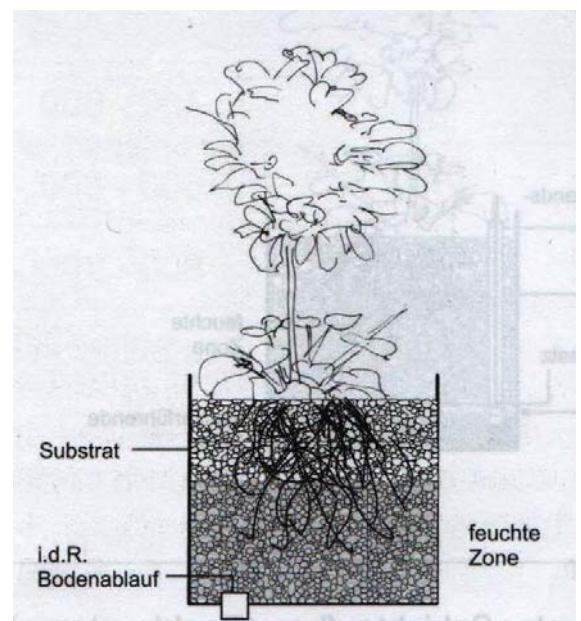


Abb.6. Wasseranstau im Substrat.
(Quelle: FLL, 2011, S.21).

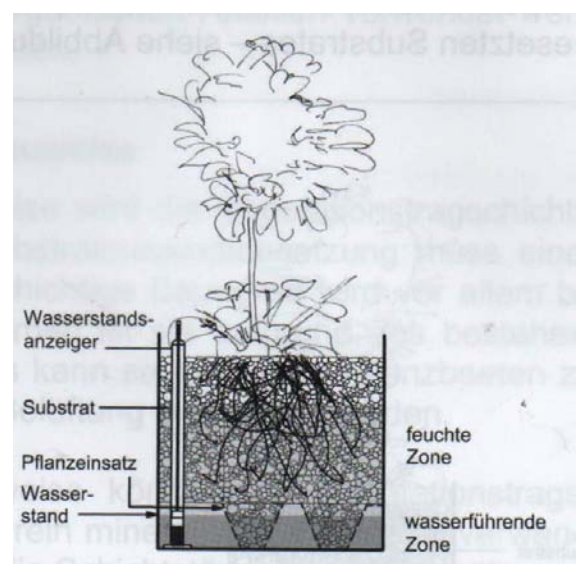


Abb.7. Separater Wasserspeicher unter Schichtaufbau mit Dochtsystem.
(Quelle: FLL, 2011, S.22).

2.5. Voraussetzungen für eine gelungene Innenraumbegrünung

Um eine Pflanze außerhalb ihrer natürlichen Umgebung kultivieren zu können, muss man ihren Standort den Bedürfnissen der Pflanze anpassen. Dabei sind Raumklima, Licht, Wasserhaushalt, Boden und Nährstoffversorgung entscheidend. Diese Faktoren beeinflussen sich gegenseitig, wirken aber limitierend auf das Pflanzenwachstum, wenn die Bedürfnisse der Pflanze auch nur in einem dieser Faktoren nicht erfüllt werden.

2.5.1. Standortfaktor Raumklima

Das Klima in einem Innenraum setzt sich aus Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung zusammen. Je nach ihrer Herkunft haben Pflanzen unterschiedliche Ansprüche an die klimatischen Bedingungen im Innenraum. So brauchen beispielsweise Pflanzen mit tropischer Herkunft gleichmäßig hohe Mindesttemperaturen, während Pflanzen aus mediterranen oder subtropischen Zonen in den Wintermonaten niedrige Temperaturen (eine sogenannte Winterruhe) benötigen (KERSTJENS, 1998).

Auch die Luftfeuchtigkeit ist ein wesentlicher Faktor für das gesunde Gedeihen von Pflanzen. Farne beispielsweise benötigen eine hohe Luftfeuchtigkeit (SIMON, o.J.), die mithilfe von Verdampfern, Sprühnebelanlagen oder Verdunstern erzielt werden kann (KERSTJENS, 1998).

2.5.2. Standortfaktor Licht

Licht ist für die Photosynthese der Pflanze entscheidend. Der spezifische Bedarf an Licht ist je nach Pflanzenart unterschiedlich, die Lichtansprüche reichen von Hundert bis zu mehreren Tausend Lux (VOLM, 2002). Doch nicht nur die Lichtintensität (gemessen in Lux) sondern auch die spektrale Zusammensetzung des Lichts ist für die Pflanze entscheidend (s. Abb. 8). Die maximale Lichtabsorption gelingt den Pflanzen in den Wellenbereichen zwischen 400 und 500 nm und zwischen 600 und 700 nm.

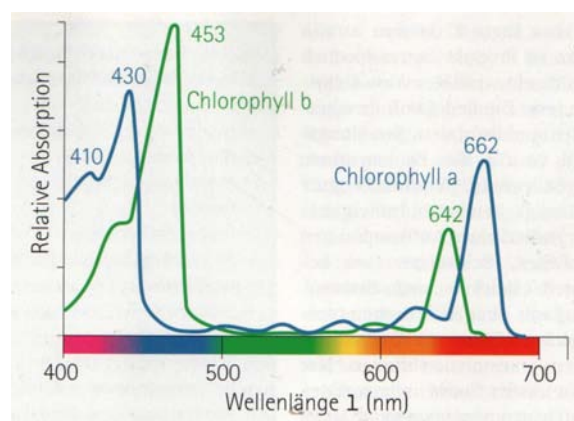


Abb.8. Absorptionsspektren von Chlorophyll a und b nach RICHTER, 1988. (Quelle: VOLM, 2002 S. 37).

Aber auch blaues und ultraviolettes Licht unter 400 nm und rotes und infrarotes Licht über 720 nm werden für die Pflanzenentwicklung (das Verhältnis dunkelrotes zu hellrotem Licht beeinflusst das Streckungswachstum) benötigt (VOLM, 2002).

Dieses Wissen ist vor allem bei Wärmeschutzverglasung relevant, die genau im pflanzenwichtigen Bereich von 380 bis 780 nm eine stark reduzierte Lichtdurchlässigkeit aufweist (KERSTJENS, 1998).

Auch die Einstrahldauer (Tag-/Nachtlänge) beeinflusst das Pflanzenwachstum (VOLM, 2002).

Lichtmangel bei einer Pflanze kann zu erhöhter Krankheitsanfälligkeit, "Geiltrieben", Aufhellung der Triebe und Blattfall bis zum Absterben der Pflanze führen. Werden die erforderlichen Lichtwerte nicht erreicht, muss für eine erfolgreiche Innenraumbegrünung Zusatzlicht installiert werden. Dies kann mithilfe von Metallhalogenlampen, Natrium- und Quecksilberdampflampen erfolgen (JANSEN, 1998). An der Optimierung von Light Emitting Diodes (LED) wird derzeit noch geforscht (ERLER, 2012).

2.5.3. Standortfaktor Bodenfeuchte

Auch was den Wasserbedarf betrifft, unterscheiden sich die einzelnen Pflanzenarten. Das Spektrum reicht hier von Pflanzen, die hohe Bodenfeuchtigkeit brauchen und sogar überflutete Standorte gewohnt sind (Mangrovenwald) und nie austrocknen dürfen, bis zu Pflanzen aus dem "Wüstenklima", die längere Austrocknung vertragen (FLL, 2011).

In der Praxis werden Pflanzen in Innenräumen tendenziell zu feucht gehalten. Die Wurzeln erhalten dadurch nicht mehr genügend Sauerstoff und beginnen zu faulen (SIMON, o. J.).

Die Bewässerung der Pflanzen kann über ein Anstauverfahren, mittels Tröpfchenbewässerung, über poröse Druckschläuche oder durch oberflächiges Versprühen erfolgen (KERSTJENS, 1998). Die Steuerung der Bewässerung kann automatisch oder manuell geregelt werden. Die Einstellung der Bewässerung ist eine komplizierte Angelegenheit, da unterschiedliche Bewässerungsintervalle, je nach Pflanzenart, -größe, -menge, Raumtemperatur, Jahresverlauf etc. erforderlich sind.

Auch die Wasserqualität ist von Bedeutung. Viele Pflanzen reagieren empfindlich auf zu hohen Kalkgehalt, aber auch zu weiches Wasser kann vor allem bei Hydrokulturen zu Problemen bei der Verfügbarkeit der Nährstoffe führen (VOLM, 2002).

2.5.4. Standortfaktor Nährstoffversorgung

"Zum Aufbau organischer Substanzen benötigen alle Pflanzen Kohlenstoff und Sauerstoff aus dem CO₂ und O₂ der Atmosphäre und Bodenluft, Wasserstoff aus dem Bodenwasser sowie [...] weitere unentbehrliche (essenzielle) Elemente und eine Reihe nützlicher Elemente aus dem Nährstoffvorrat der Böden." (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010, S. 391).

Im Gegensatz zur landwirtschaftlichen Produktion ist bei Zimmerpflanzen Düngung nur in Form einer Erhaltungsdüngung erforderlich. Ziel ist ein Verhindern von Chlorosen und Nekrosen sowie ein gesundes Erscheinungsbild, nicht aber starkes Wachstum, das nur erhöhten Pflegeaufwand bedeutet (MOLITOR, 1998).

Substrate ohne organischer Substanz haben nur ein sehr geringes Puffervermögen und müssen daher regelmäßig mit den entsprechenden Nährstoffen versehen werden. Hauptnährstoffe sind Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium. Für die Pflanze wichtige Spurenelemente sind Bor, Kupfer, Zink, Mangan, Eisen und Selen (FLORINETH, 2012).

Für die Versorgung mit Nährstoffen ist eine regelmäßige Düngung erforderlich. Die Düngegabe kann in Form von Flüssigdünger, Salzdünger oder als Langzeitdünger (Depot- oder Ionenaustauscherdünger) verabreicht werden.

Für die richtige Düngerauswahl ist der pH-Wert, der Salzgehalt im Substrat, das vorhandene Nährstoffangebot, das Gießwasser und der Nährstoffbedarf der verschiedenen Pflanzenarten entscheidend. Bei einem pH-Wert zwischen 5,0 und 6,5 ist die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe am besten, bei deutlichem Unter- oder Überschreiten nimmt die Löslichkeit/Verfügbarkeit bestimmter Nährstoffe ab (MOLITOR, 1998).

Genauere Analysen des Gießwassers, der Nährlösung und des Substrates sind jedenfalls Voraussetzung für die Erstellung eines Düngeplans.

2.5.5. Standortfaktor Boden/Substrat

Das Substrat, in dem die Pflanze wächst, ist ausschlaggebend für die Wasser- und Sauerstoffversorgung der Pflanze, sorgt für Halt und beeinflusst den Nährstoffhaushalt.

Grundsätzlich kann zwischen organischen und mineralischen Substraten unterschieden werden. Auch eine Mischung beider Varianten (organisch-mineralisch) ist möglich.

Organische Substrate

Organische Substrate bestehen entweder aus Hochmoortorf oder in letzter Zeit vermehrt aus Torfersatzstoffen. Torfersatzstoffe sind beispielsweise Kokosfasern, Rindenkompost, Ton und Holzfasern.

“Bei organischer Substanz sind gute bodenchemische Eigenschaften mit schlechtem bodenphysikalischem Verhalten verknüpft.” (KERSTJENS, 1998, S.117). Positiv ist das gute Puffervermögen für Nährstoffe und pH-Wert sowie eine gute Sorptionskapazität für Kationen. Organische Substrate haben viele luftführende Poren bei gleichzeitig gutem Wasserhaltevermögen.

Als negative Eigenschaft muss angeführt werden, dass organische Substanzen bei extremem Wassermangel irreversibel austrocknen können.

Entscheidend für die Tauglichkeit von Erdsubstraten ist der Abbau der organischen Substanz, der schwer zu kontrollieren ist und einen schwierig einzuschätzenden Nährstoffhaushalt und ein starkes Setzungsverhalten zur Folge hat. Es sollten jedenfalls nur mikrobiell schwer zersetzbare Stoffe zum Einsatz kommen (KERSTJENS, 1998; FLL, 2011).

Auch die Besiedelung mit Keimen und Bakterien ist in Erdsubstraten höher, weswegen sie in Krankenäusern nicht zugelassen sind (Arbeitskreis für Krankenhaushygiene des Magistrats der Stadt Wien MA 15 – Gesundheitswesen und Soziales, 1990).

Anteilmäßig haben organische Materialien in der Innenraumbegrünung nur eine untergeordnete Bedeutung (KERSTJENS, 2011).

Mineralische Substrate

Rein mineralische Substrate bestehen im wesentlichen aus Bims, Lava, gebrochenem Blähton, Blähschiefer und Tongranulaten, Zeolithen, Perlithen oder Vermiculiten (KERSTJENS, 2011). Im englischen Sprachgebrauch wird unter Hydrokultur generell die erdlose Kultur verstanden, im deutschen versteht man darunter meist nur die klassischen Blähtonkügelchen im geschlossenen System mit Wasserstandsanzeiger.

Rein mineralische Substrate erfüllen nur physikalische Eigenschaften eines Bodens (statische Funktion, Wasser- und Lufthaushalt). Wegen der geringen Pufferwirkung müssen Nährstoffe durch Düngung zugeführt werden. Der Nährstoffeintrag kann dadurch gezielter reguliert werden. Allerdings ist das System aber auch anfälliger gegen unsachgemäße Düngung oder “unbefugten” Stoffeintrag.

Durch Systeme, in denen Wasseranstau möglich ist, können längere Gießintervalle ermöglicht werden.

Auf die untersuchten Substratvarianten und deren Eigenschaften und Herstellung wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

3. Beschreibung der zu untersuchenden Substratvarianten

In diesem Kapitel werden die zu untersuchenden Substrate in Hinblick auf Herstellungsverfahren, Korngröße, Verwendung etc. beschrieben. Die Farbcodierung (in den Überschriften) der Substratvarianten bleibt im ganzen Bericht gleich und erleichtert die Lesbarkeit der Tabellen und Diagramme.

Getestet werden vier C - Varianten im Vergleich zu drei Referenzsubstraten.

3.1. Natürlich gebrannter Ton (C)

Bei dem Substrat C handelt es sich um Haldenmaterial aus hart gebranntem Ton mit Kohleresten. Abgebaut wird das Gemisch (die sogenannte Halde) in einem ehemaligen Steinkohlebergwerk, dessen Kohleförderbetrieb 1980 eingestellt wurde. Die zurückgebliebene Halde begann unterirdisch zu brennen, wodurch dieser natürliche Hartbrand entstehen konnte (http://www.halditt.at/de/über-uns.html_04.05.2013,12:01).

Dies stellt einen großen Vorteil gegenüber anderen mineralischen Substraten dar, da kein zusätzlicher Energieaufwand für die Produktion (zb. Brennen, Aufblähen etc.) notwendig ist. C - Substrate aus natürlich gebranntem Ton bestehen im Wesentlichen aus folgenden chemischen Bestandteilen:

- 52% Siliciumoxid (SiO^2)
- 22% Aluminiumoxid (Al^2O^3)
- 11% Eisenoxid (Fe^2O^2)

Dieses mineralische Substrat wurde in folgenden Körnungen getestet:

C 0/3 (s. Abb.9)

Abb.9. Natürlich gebrannter Ton (C 0/3).



Herstellungsverfahren: abgebauter natürlicher Hartbrand.

Korngröße: 0/3 mm.

Verwendung: Deckschicht bei Tennisplätzen.

C 0/12 (s. Abb.10)

Abb.10. Natürlich gebrannter Ton (C 0/12).



Herstellungsverfahren: abgebauter natürlicher Hartbrand.

Korngröße: 0/12 mm.

Verwendung: dynamische Wasserspeicherschicht bei Tennisplätzen

C 3/12 (s. Abb.11)

Abb.11. Natürlich gebrannter Ton (C 3/12).



Herstellungsverfahren: abgebauter natürlicher Hartbrand.

Korngröße: 3/12 mm.

Verwendung: Dränschicht in der Dachbegrünung, Abdeckmaterial

C 2/4 (s. Abb. 12)

Herstellungsverfahren: abgebauter natürlicher Hartbrand.
Korngröße: 2/4 mm.



Abb.12. Natürlich gebrannter Ton (C 2/4).

3.2. Blähtongranulat (S) (s. Abb. 13)

Herstellungsverfahren: S ist ein Substrat, bei dem Tonminerale in einem speziell patentierten Herstellungsverfahren mit Wasser verflüssigt und auf ein Porenvolumen von über 80 % gebracht werden. Danach wird der Ton getrocknet, gebrochen und nur so stark gebrannt, dass er noch Wasser aufnehmen kann. Durch dieses Verfahren wird das Substrat sehr leicht und extrem wasseraufnahmefähig (kapillarer Wasseraufstieg bis 26 cm). Die typische rote Färbung erhält es durch den Oxidationsprozess während des Brennvorganges.

Verwendung: Pflanzen können mit dem Erdballen in das System gesetzt werden. Ein geschlossenes (dichtes) Gefäß sowie Düngung bei jedem Gießvorgang werden empfohlen (VETH, 1998).



Abb.13. Blähtongranulat (S).

3.3. Blähtonkugeln (B) (s. Abb. 14)

Herstellung: Dieses Produkt, das oftmals auch als Lecaton bezeichnet wird, besteht aus vorbehandelten Tonkugelchen, die bei 1200° in einem Drehrohrföfen aufgebläht werden, wodurch es eine gleichmäßige "Außenhaut", bei gleichzeitig porösem Innenleben bekommt. Die Kugeln sind struktur stabil und faulungsfest (SCHUBERT, 1979).

Korngröße: 5/200 mm.

Verwendung: als Zuschlag oder Drainagestoff bei Erdkulturen oder in erdloser Kultur ("Hydrokultur"). Hier dürfen keine organischen Substanzen beigemischt werden, da es sonst zu Fäulnisbildung kommt.



Abb.14. Blähtonkugeln (B).

3.4. Torffreie Blumenerde (E)

(s. Abb. 15)

Herstellung: Öko Blumenerde, erzeugt in Deutschland aus Montmorillonit-Ton, Kompost, Holzfasern, Rindenhumus und organischem Dünger.

Verwendung: Kultursubstrat für Zimmer-, Kübel- und Balkonpflanzen.



Abb.15. torffreie Blumenerde (E).

4. Versuchsaufbau und Zeigerpflanzen

In einem sechsmonatigen Versuch wurde das Pflanzenwachstum von ausgewählten Zeigerpflanzen in den verschiedenen Substratvarianten, bei gleichen Bedingungen, untersucht. Einmal im Monat erfolgte eine Bonitur, in der Vitalität, Wuchshöhe, Infloreszenz und (bei *Crassula ovata*) Druckfestigkeit der Blätter untersucht wurden. Nach Ablauf des Versuchszeitraumes wurden die Pflanzen entnommen und fotometrisch vermessen, danach systematisch zerschnitten und ihre Biomasse in frischem sowie getrocknetem Zustand gravimetrisch bestimmt.

4.1. Beschreibung des Versuchsaufbaues

In Zuge eines Versuches werden Pflanzen, die sich für die Innenraumbegrünung eignen, in die in Kapitel 6 beschriebenen Substratvarianten gepflanzt. Diese Pflanzen dienen als Indikatoren für die Eignung der Substratvarianten – ihre Entwicklung lässt Rückschlüsse auf die Eigenschaften der unterschiedlichen Substrate zu. Drei Zeigerpflanzen wurden ausgewählt und werden in Kapitel 7.2 eingehend beschrieben.

Der Versuchsaufbau wurde wie folgt aufgesetzt:

7 Substratvarianten

(4 C-Substratvarianten + 3 Referenzsubstrate)

x

3 Zeigerpflanzen

(*Chlorophytum* sp. 'Ocean'; *Crassula ovata*;
Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc' / *Cyperus alternifolius*)

x

3-fache Wiederholung

(zur statistischen Sicherheit)

= 63 Versuchsobjekte

Die Zeigerpflanzen werden in 3-facher Wiederholung in dichte Töpfe (ohne Entwässerungslöcher) mit Wasseranstaureservoir in einschichtigem Aufbau gesetzt. Aufgrund der konstruktiven Trennung des Anstaubereiches vom Substrat durch einen Plastikeinsatz wurde auf eine Trennlage mit Vlies verzichtet. Lediglich bei der Substratvariante E wurde eine zusätzliche Drainageschicht mit einer 2 cm hohen Blähtonschicht gesetzt, um mögliche Fäulnisbildung zu vermeiden.

Es werden alle Pflanzen, unabhängig von ihrem bevorzugten Wasserbedarf, mit derselben Wassermenge versorgt – um bei gleicher Bewässerung – Unterschiede im Wuchsverhalten der Pflanzen und damit auch Unterschiede in der Eignung der verschiedenen Substrate feststellen zu können. In den ersten beiden Versuchsmonaten werden die Pflanzen täglich mit 0,06 l bewässert. Danach wird die Wassermenge auf 0,3l einmal pro Woche reduziert. Auf Düngung wird während der Versuchslaufzeit gänzlich verzichtet.

Als Versuchsstandort dient der gesperrte Mittelsteg im 3. Stock des Schwackhöferhauses (Peter Jordan Straße 82) der Universität für Bodenkultur Wien, da hier geeignete Standortbedingungen in Bezug auf Temperatur, Versorgung mit ausreichend natürlichem Licht und Betreuung des Versuches gegeben sind. Die Anordnung der Töpfe (s. Abb. 16) erfolgt in Reihen, getrennt nach Arten und in Blöcken, entsprechend der Versuchswiederholung. Innerhalb der Reihen verläuft die Topfaufstellung nach dem Zufallsprinzip. Die Pflanzen wurden im Großhandel wurzelnackt (ohne Erdballen) gekauft, um eine bestmögliche Reaktion auf die verschiedenen Substratvarianten zeigen zu können. Der Versuchsaufbau erfolgt am 13. August 2012, der Versuch endet nach sechsmonatiger Laufzeit am 18. Februar 2013.



*Abb.16. Versuchsaufbau
am Institut für Ingeuerbiologie und Landschaftsbau
der Universität für Bodenkultur Wien.*

4.2. Beschreibung der Zeigerpflanzen

Nachfolgend werden die Zeigerpflanzen (*Chlorophytum sp. 'Ocean'*, *Crassula ovata*, *Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc'*, *Cyperus alternifolius*) und ihre Standortansprüche beschrieben.

4.2.1. *Chlorophytum sp. 'Ocean'* (Grünlilie)

Familie

Anthericaceae (Grasliliengewächse)

Kurzprofil der Ansprüche

Lichtansprüche: L2-3, hoch bis mittel
(43000-1000 Lux)

Wasserbedarf: W2-3, immer feuchte, nie austrocknende Böden bis gute Wasserversorgung

Luftfeuchtigkeit: Lu1-2, >40 und >60 % (gutes Wohnraumklima)

Temperatur: T1, T2 tropisch, subtropisch
(FLL, 2011).

Wuchsform

(s. Abb. 17-19)

Krautige Pflanze, deren schwertförmige Blätter aus einem kurzen Grundstross in dichten Rosetten überhängend herauswachsen. An ebenfalls überhängenden Ausläufertrieben entstehen weiße Blüten und junge Brutpflanzen (sogenannte Kindel). Die Sorte 'Ocean' hat etwas breitere Blätter als die Stammform und ist an den Rändern weiß panaschiert. Die Wurzeln sind weiß und fleischig verdickt.

Standort: Hell bis halbschattig, keine volle Sonne, warmer Standort, 8-20°C.

Substratansprüche

Humoses Substrat mit Landerdeanteil

pH-Wert: 5,8-6,5

(BÜRKI, FUCHS, 2004; GREINER,WEBER, 2004).

Sehr pflegeleicht (SCHUBERT, 1974).

Zeigerfunktion

Diese Art wurde als Nährstoffzeiger ausgewählt. Sie hat keine besonderen Ansprüche an den Wasserhaushalt, ist also sowohl Trockenheit als auch Feuchte gegenüber tolerant, zeigt aber in ihrer Entwicklung sehr rasch durch ihr Wachstum den Nährstoffbedarf an.



Abb.17. *Chlorophytum sp. 'Ocean'*.



Abb.18. *Chlorophytum sp. 'Ocean'*,
Ansicht von oben.



Abb.19. *Chlorophytum sp. 'Ocean'*, Wurzel.

4.2.2. *Crassula ovata* (Geldbaum)

Familie

Crassulaceae (Dickblattgewächse)

Kurzprofil der Ansprüche

Lichtansprüche: L1-2, sehr hoch bis hoch (> 43000 Lux).

Wasserbedarf: W3-4, mittel bis gering, gute Wasserversorgung, verträgt Austrocknung, trockenes warmes „Wüstenklima“.

Luftfeuchtigkeit: Lu2-3, 60-30 % gutes Wohnraumklima bis trockenes Wohnhausklima.

Temperatur: T2, subtropisch, mediterran, verträgt deutliche Tages- und Nachtschwankungen, aber keinen Frost. Benötigt eine Jahresschwankung mit winterlicher Vegetationsruhe bei durchschnittlich niedrigen Temperaturen (FLL, 2011).

Wuchsform

(s. Abb. 20-22)

Sukkulente Pflanze mit kompaktem Wuchs, kräftiger Grundstamm mit dicktriebiger, breiter Verzweigung.

Blätter: oval, glänzend, dickfleischig.

Standort

ganzjährig sehr hell bis vollsonnig, Sommertemperatur: 12-18°C, Winter (6-10°C, v.a. für Blütenbildung notwendig).

Substratansprüche

Landerde mit Humus- und Sandzusatz, pH- Wert: 6,5-7,5. (BÜRKI, FUCHS, 2004; GREINER,WEBER, 2004).

Zeigerfunktion

Diese Art wurde aufgrund ihres geringen Wasserbedarfes als Zeigerpflanze für trockene Standorte, also Substrate mit einem geringen Wasseraufnahme- und Wasserhaltevermögen gewählt.



Abb.20. *Crassula ovata*.



Abb.21. *Crassula ovata*,
Ansicht von oben.



Abb.22. *Crassula ovata*, Wurzel.

4.2.3. *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc' (Einblatt)

Familie

Araceae (Aronstabgewächse)

Kurzprofil der Ansprüche

Lichtansprüche: L2-4, hoch bis gering (43000-500 Lux).

Wasserbedarf: W1, hohe Bodenfeuchtigkeit.

Luftfeuchtigkeit: Lu1-2, >60-40 % feuchtes Tropenklima bis gutes Wohnraumklima.

Temperatur: T1-2, tropisch bis subtropisch (FLL, 2011).

Wuchsform

(s. Abb. 23-25)

krautige Pflanze mit grundständigen aufrechten, langgestielten, lanzettlichen Blättern in glänzendem Dunkelgrün. Aus den Blattscheiden wachsen cremefarbene langgestielte Blütenkolben, die von einem weißen Hüllblatt umgeben sind.

Standort

hell bis halbschattig bis schattig, ganzjährig warm, 18-22°C.

Substratansprüche

Humoses Substrat mit etwas Landerdeanteil, pH- Wert: 5,0-6,0 (BÜRKI,FUCHS, 2004; GREINER,WEBER, 2004).

Zeigerfunktion

Spatiphyllum sp. wurde als Zeigerpflanze für feuchte Standorte, also Substrate mit einer guten Wasserversorgung, gewählt, verträgt aber Staunässe schlecht

(<http://www.blumen-garten-pflanzen.de/zimmerpflanzen/einblatt-spathiphyllum.htm>, 1.4.2013).

Anmerkung:

Im Versuch kam es aus diesem Grund zu Wurzelfäule in den meisten Substraten, weswegen diese Art am 6.11.2012 durch die staunässeverträgliche Art *Cyperus alternifolius* ersetzt wurde.



Abb.23. *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc'.



Abb.24. *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc', Ansicht von oben.



Abb.25. *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc', Wurzel.

4.2.4. *Cyperus alternifolius* = *Cyperus involucratus* (Zypergras)

Familie

Cyperaceae (Sauergräser)

Kurzprofil der Ansprüche

Lichtansprüche: L1-2, sehr hoch bis hoch (> 43000 Lux).

Wasserbedarf: W1, hohe Bodenfeuchtigkeit bis hin zu überfluteten Standorten.

Luftfeuchtigkeit: Lu2, mittlere Feuchtigkeit, gutes Wohnraumklima, >40-60%.

(FLL, 2011).

Wuchsform

(s. Abb. 26-28)

Dünne Blattstiele, die sich aus einem kurzen Basisspross entwickeln. Die quirllosen Jungpflanzen sind im Handel als Katzengras erhältlich (http://de.wikipedia.org/wiki/Katzengras_1.4.2013). Später teilen sich die Blattstiele zu der typischen regenschirmartigen Wuchsform.

Standort

Sonnig bis halbschattig, 12-20°C, Trockenheit meiden, vertragen und mögen Staunässe.

Substratansprüche

Humoses Substrat mit Landerdeanteil, pH-Wert: 5,0-6,0 (BÜRKI,FUCHS, 2004; GREINER,WEBER, 2004).

Zeigerfunktion

Nach dem Ausfall von *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc' wurde *Cyperus alternifolius* als Ersatzpflanze gewählt, da diese Art aufgrund ihrer Staunässeverträglichkeit für das Topfsystem mit Wasseranstau besser geeignet ist.



Abb.26. *Cyperus alternifolius*.



Abb.27. *Cyperus alternifolius*,
Ansicht von oben.



Abb.28. *Cyperus alternifolius*, Wurzel.

5. Untersuchte vegetationstechnische Parameter und Ergebnisse

Während der Versuchslaufzeit von sechs Monaten werden Vitalität, Wuchslänge (=Länge des längsten Triebes) sowie Infloreszenz und bei *Crassula ovata* die Druckfestigkeit der Blätter im Rahmen einer Bonitur aufgenommen. Monatlich werden von zwei Personen die Pflanzen untersucht und die ermittelten Daten in ein Boniturprotokoll eingetragen.

Nach Abschluss des Monitorings werden die Dimensionen der Pflanzen fotometrisch bestimmt und ihre Volumen errechnet. Von je einer Zeigerpflanze je Substrat wird abschließend die Biomasse im frischen und trockenen Zustand erhoben.

Untenstehend (Tab.1.) ist beispielhaft ein Boniturprotokoll mit eingetragenen Erhebungsdaten aufgezeigt.

Boniturprotokoll												
Datum: 26.09.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Infloreszenz			
	Pflanze				Pflanze				Pflanze			
	1	2	3	Ø	1	2	3	Ø	1	2	3	Ø
C 0/3	3	3	3	3,0	45	49	44	46	x	x	x	3/3
C 0/12	4	4	2	3,3	39	50	40	43	x	x		2/3
C 3/12	3	3	3	3,0	45	46	41	44	x	x	x	3/3
C 2/4	3	2	2	2,3	49	52	41	47	x	x	x	3/3
S	4	2	3	3,0	43	50	39	44	x	x		2/3
B	3	3	2	2,7	41	41	54	45	x	x	x	3/3
E	3	3	2	2,7	43	49	57	50	x	x	x	3/3

Tab.1. Beispiel für ein Boniturprotokoll.

5.1. Vitalität

Unter Vitalität wird der Gesundheitszustand der Pflanze verstanden.

5.1.1. Methode zur Bestimmung der Vitalität

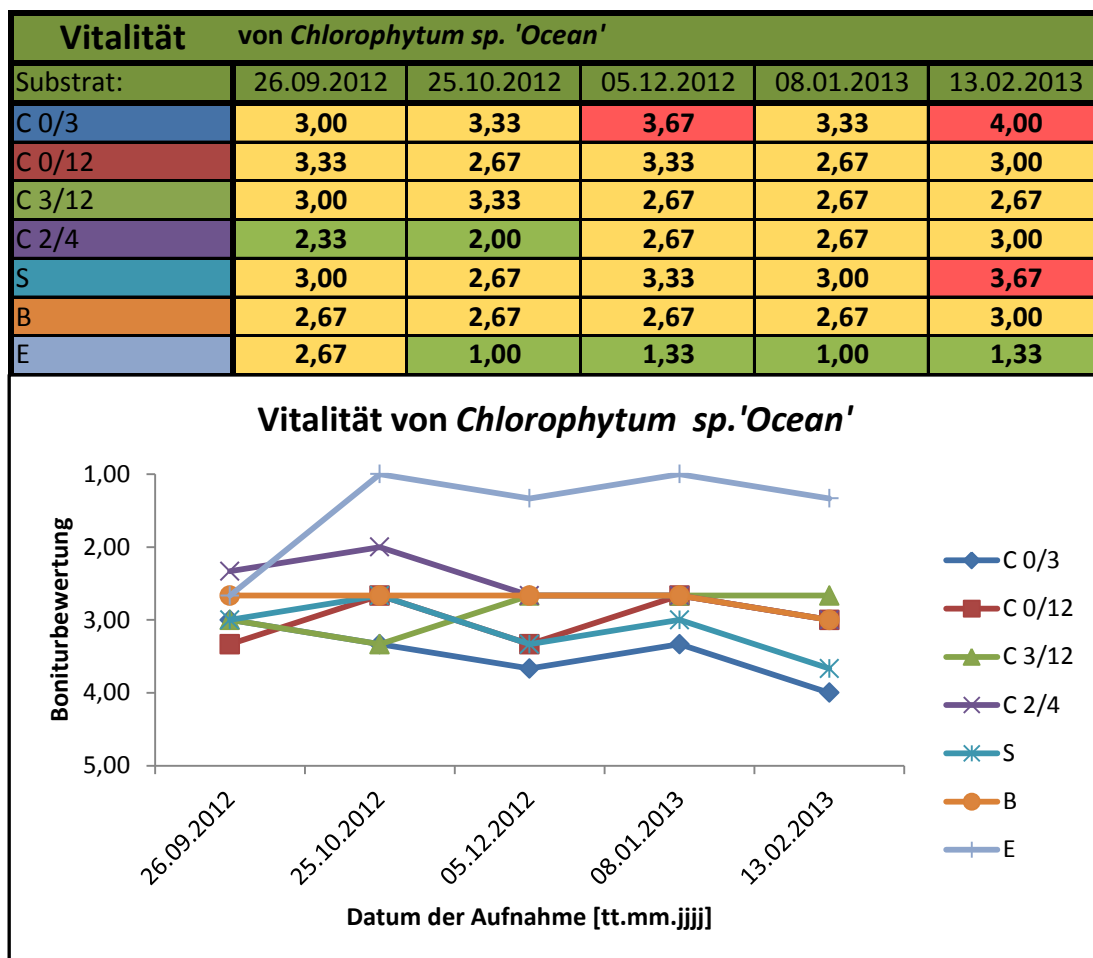
Die Vitalität (Gesundheitszustand) der Pflanzen wird im Zuge der monatlichen Bonitur (Boniturprotokolle s. Anhang) mittels optischer Bewertung durch zwei Personen aufgenommen. An jede einzelne Pflanze werden dabei in Anlehnung an das Schulnotensystem Vitalitätsnoten von 1-5 vergeben:

- 1 üppig
- 2 wüchsig
- 3 normal /vital
- 4 verkümmert
- 5 teilweise abgestorben

Zusätzlich werden Besonderheiten im Erscheinungsbild, sowie möglicher Schädlingsbefall, mechanische Schadeinwirkung etc. entsprechend vermerkt.

Die Ergebnisse der Bonituren der drei Versuchsreihen werden in einem weiteren Bearbeitungsschritt gemittelt und in Diagrammen dargestellt. Die Bewertung erfolgt in einer dreistufigen Skala: Liegt die gemittelte Vitalität zwischen 1 und 2,4, wurde das Substrat bei diesem Parameter als "gut" eingestuft (grün hinterlegtes Feld), bei Werten zwischen 2,5 und 3,4 als "mäßig" (gelb hinterlegt) und zwischen 3,5 und 5 als "gering geeignet" (rot hinterlegt).

5.1.2. Ergebnisse der Vitalitätsbestimmung für *Chlorophytum sp. 'Ocean'*



Tab.2. Vitalität (gemittelt, gereiht und bewertet) mit Diagramm von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

Bei der Vitalitätsbestimmung von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*, der Zeigerpflanze für moderate Standorte zeigt sich (wie in den Tabellen 2 und 3 ersichtlich), dass die Pflanzen, die in der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) wachsen, bei den meisten Bonituren mit einer Durchschnittsnote von 1 - 1,5 als am vitalsten beurteilt werden. *Chlorophytum sp.* ist eine nährstoffhungrige Pflanze, die auf die verfügbaren Nährstoffe sehr rasch reagiert, woraus sich ableiten lässt, dass in diesem Substrat die meisten Nährstoffe verfügbar sind.

Eine "mäßige" Vitalität weisen (in absteigender Reihenfolge) die Substrate C 2/4, B (Blähtonkugeln), C 3/12, C 0/12 und S (Blähtongranulat) auf.

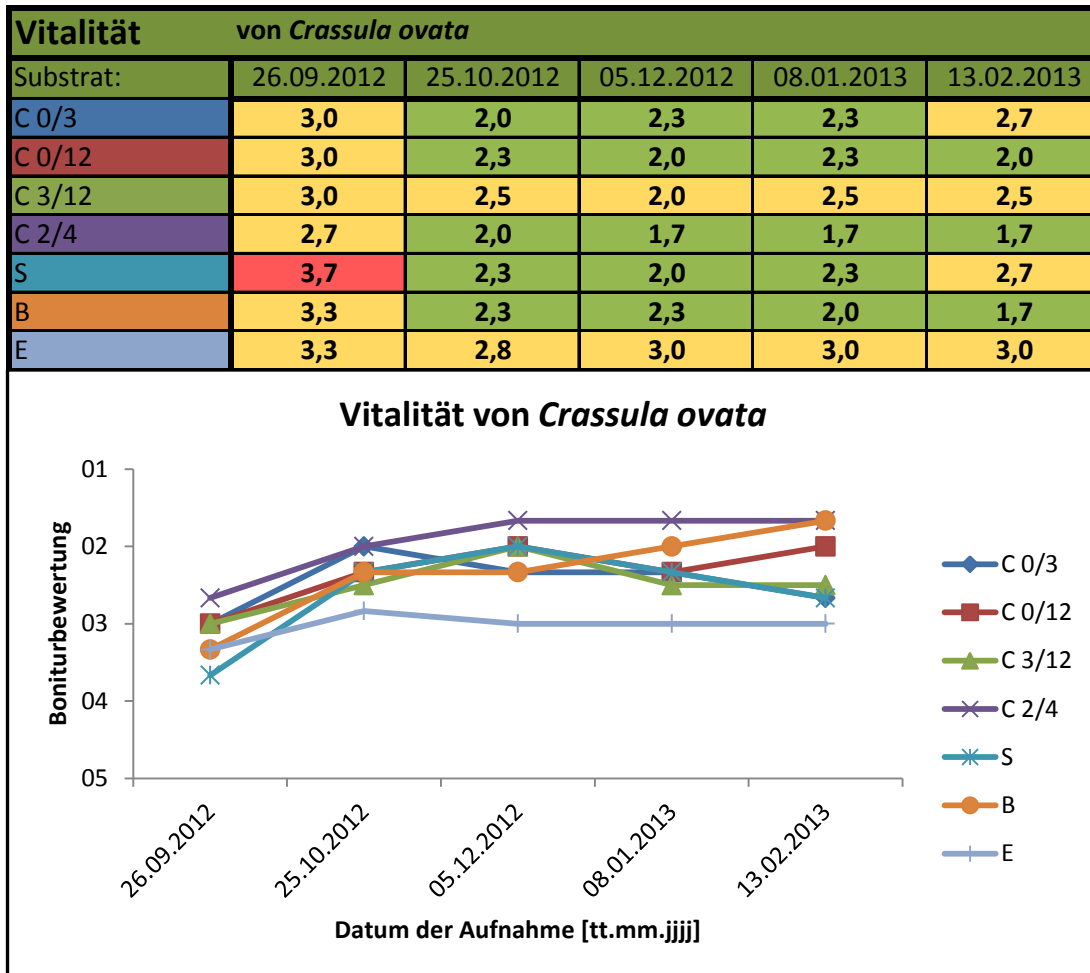
Am schlechtesten fällt die Bewertung mit 3,5 für das Substrat aus natürlich gebranntem Ton C 0/3 aus.

Vitalität (\bar{x} , gereiht) von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> 26.09.2012-13.02.2013		
Substrat	E	1,5
	C 2/4	2,5
	B	2,7
	C 3/12	2,9
	C 0/12	3,0
	S	3,1
	C 0/3	3,5

Tab.3. Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

Der generelle Abfall in der Einstufung der Vitalität der Pflanzen in allen Substraten ist darauf zurückzuführen, dass die Pflanzen während der gesamten Versuchslaufzeit nicht gedüngt wurden und gegen Ende bereits ein Nährstoffmangel zu verzeichnen ist.

5.1.3. Ergebnisse der Vitalitätsbestimmung für *Crassula ovata*



Tab.4. Vitalität (gemittelt, gereiht und bewertet) mit Diagramm von *Crassula ovata* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

Vitalität (Ø, gereiht) von <i>Crassula ovata</i> 26.09.2012-13.02.2013		
Substrat	C 2/4	1,9
	B	2,3
	C 0/12	2,3
	C 0/3	2,5
	C 3/12	2,5
	S	2,6
	E	3,0

Tab.5. Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von *Crassula ovata* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

Vitalität (Ø, gereiht) von <i>Crassula ovata</i> am 29.04.2013		
Substrat	C 3/12	2,5
	C 2/4	2,5
	S	2,5
	E	2,5
	B	3,0
	C 0/12	4,0
	C 0/3	4,5

Tab.6. Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von *Crassula ovata* am 29.04.2013.

Crassula ovata fungiert als Zeigerpflanze für trockene Standorte. Durch ihren dicken, fleischigen Habitus kann sie "schlechte" Bedingungen sehr lange kompensieren und zeigt Reaktionen auf "falsche" Standortbedingungen (v.a. Fäulnis wegen zu viel Feuchte) erst sehr spät an. Aus diesem Grund wird in der Interpretation weniger auf die durchschnittlichen Vitalitätswerte eingegangen (Tab. 4 und 5), sondern das Hauptaugenmerk auf die Betrachtung der Werte der vorletzten Bonitur (13.02.2013) gelegt. Einen guten Gesundheitszustand weisen hierbei die Substrate C 2/4, B und C 0/12 auf. Durchschnittlich verhalten sich die Pflanzen in C 3/12. (Hier wurden als Grundlage zur Berechnung des Mittelwertes allerdings nur zwei Pflanzen herangezogen, da die dritte Pflanze aus nicht offensichtlichen Gründen ab der ersten Bonitur einen verkümmerten Wuchs aufwies und ab 2013 nur mehr mit der Note 5 bewertet werden konnte, somit aus der Berechnung ausgeschlossen werden musste). Auch C 0/3, S und E werden mit "mäßig" bewertet.

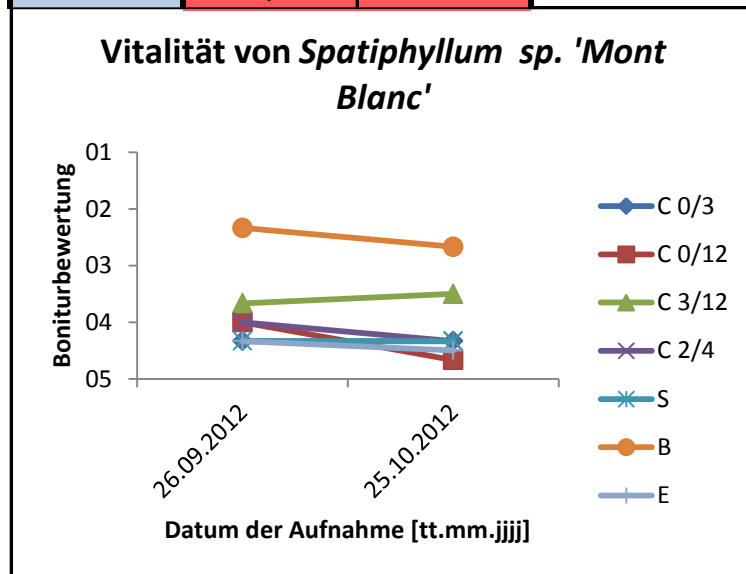
Da außerhalb des Versuchszeitraumes (Ende April) eine starke Verschlechterung des Gesundheitszustandes der Pflanzen in den Substraten 0/3 und 0/12 festgestellt wird, wird am 29.04.2013 eine abermalige Bonitur durchgeführt, um den Abfall der Vitalität festhalten zu können und in die Bewertung einzubeziehen. Bei dieser Bonitur können nur mehr zwei Pflanzen beurteilt werden, da bereits eine Pflanze je Substratvariante für die Biomasseerhebung entfernt wurde.

Bei dieser Bonitur ist ein Abfall der Werte in allen Substratvarianten festzustellen (vgl. Tab 4 und 6). Eine Steigerung der durchschnittlichen Vitalitätsnote findet sich nur in den Substraten S und E, wobei bei E gesagt werden muss, dass sich die Durchschnittsnote aus den Vitalitätsnoten "1" und "4" zusammensetzt.

Eine weitere Beobachtung dieser Pflanzenart über einen längeren Versuchszeitraum hinweg wäre daher sinnvoll.

5.1.4. Ergebnisse der Vitalitätsbestimmung für *Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc'*

Vitalität <i>Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc'</i>		
Substrat:	26.09.2012	25.10.2012
C 0/3	4,3	4
C 0/12	4,0	5
C 3/12	3,7	4
C 2/4	4,0	4
S	4,3	4
B	2,3	3
E	4,3	5



Tab.7. Vitalität (gemittelt, gereiht und bewertet) mit Diagramm von *Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc'* von 26.09.2012 bis 25.10.2012.

Vitalität (Ø, gereiht) <i>Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc'</i> 26.09.2012-25.10.2012		
Substrat	B	2,5
	C 3/12	3,6
	C 2/4	4,2
	C 0/3	4,3
	S	4,3
	C 0/12	4,3
	E	4,4

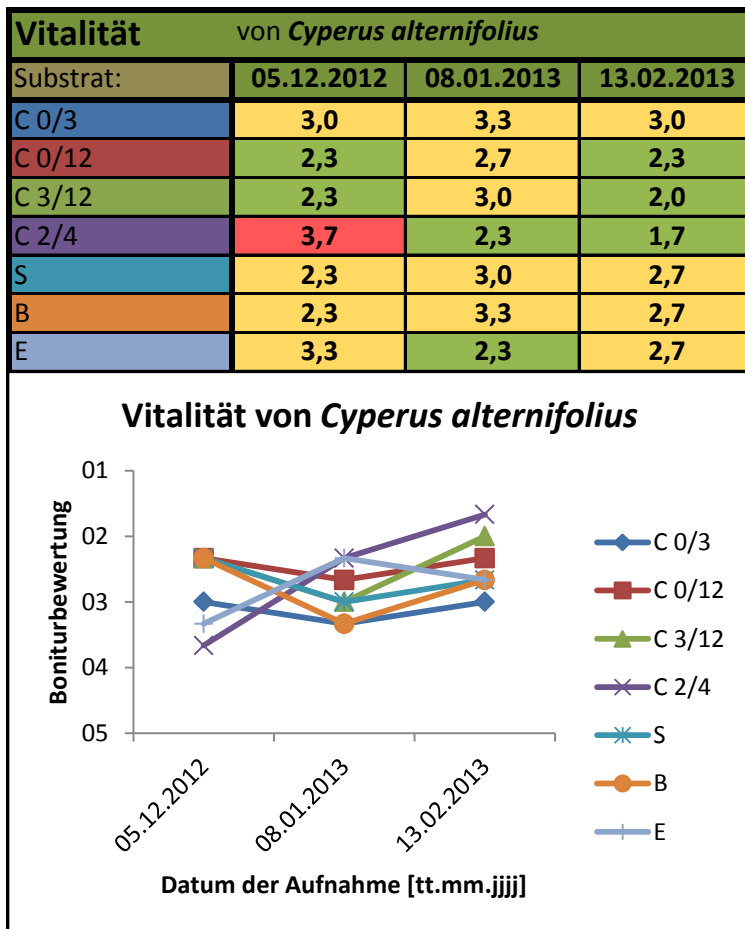
Tab.8. Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von *Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc'* von 26.09.2012 bis 25.10.2012.

Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc' gilt im Versuch als Vertretung von Pflanzen für feuchte Standorte. Diese Pflanzen sind jedoch äußerst anfällig für Staunässe, die bei dieser Art sehr schnell zu Wurzelfäule und damit zum Absterben der Pflanze führt. Da es im Zuge des Versuches zu einem Wasseranstau im Topf kam, starben viele Pflanzen ab und wurden in weiterer Folge durch *Cyperus alternifolius* ersetzt.

Lediglich im Substrat B (Blähtonkugeln) war die Vitalität am 25.10.2012 noch mit "3" zu bewerten (vgl. Tab. 7 und 8). Die große Körnung dieser Substratvariante und die dadurch geringere Kapillarität bedingt vermutlich weniger Feuchtigkeit im Wurzelbereich.

Aufgrund der Reihenfolge im Absterben der Pflanzen kann trotzdem ein Rückschluss auf das Wasserhaltevermögen der einzelnen Substrate gezogen werden (s. Tab. 7). Dabei sind die Substrate aus natürlich gebranntem Ton C 0/3, C 3/12, C 2/4 und S (Blähtongranulat) als ähnlich einzustufen, da hier die Pflanzen am 25.10.2012 noch mit "4" bewertet wurden, während in den Substraten E (torffreie Blumenerde) und C 0/12 die Pflanzen schon absterbend waren.

5.1.5. Ergebnisse der Vitalitätsbestimmung für *Cyperus alternifolius*



Tab.9. Vitalität (gemittelt, gereiht und bewertet) mit Diagramm von *Cyperus alternifolius* von 05.12.2012 bis 13.02.2013.

Das staunässeverträgliche *Cyperus alternifolius* wurde, als Ersatzpflanze für *Spatiphyllum sp.* 'Mont Blanc', als Zeiger für feuchte Standorte gewählt. Da diese Pflanze am Markt nicht wurzelnackt erhältlich war, wurde Topfware im Erdballen gekauft. Ein Ausspülen der Erde war daher notwendig. Dabei kam es zu leichten Wurzelschädigungen, die sich in der Vitalität bei den meisten Pflanzen zu Beginn widerspiegelten. Die Pflanzen konnten sich aber rasch erholen und so durchaus aussagekräftige Ergebnisse liefern.

Vitalität (Ø, gereiht) von <i>Cyperus alternifolius</i> 05.12.2012-13.02.2013	
Substrat	C 0/12 2,4
	C 3/12 2,4
	C 2/4 2,6
	S 2,7
	B 2,8
	E 2,8
	C 0/3 3,1

Tab.10. Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von *Cyperus alternifolius* von 05.12.2012 bis 13.02.2013.

Bei dieser Zeigerart für Pflanzen, die feuchte Standorte bevorzugen, werden die Substrate aus natürlich gebranntem Ton C 0/12 und C 3/12 als "gut" bewertet. Alle übrigen Substrate können mit "mäßig" benotet werden. Wenn der "schlechte" Ausgangswert der Pflanzen im Substrat C 2/4 (am 05.12.2012) im Vergleich zur Entwicklung bis zum 13.02.2013 betrachtet wird - der Ausgangswert drückt den Gesamtschnitt - ist eine klare steigende Tendenz zu erkennen. Es kann erwartet werden, dass bei längerer Versuchslaufzeit, diese Substratvariante ebenfalls mit "gut" bewertet werden könnte.

5.2. Wuchslänge

Bei dem Parameter "Wuchslänge" wird der längste oberirdische Trieb der Pflanze (in cm) erfasst.

5.2.1. Methode zur Bestimmung der Wuchslänge

Die Wuchslänge wurde, wie in Abb. 29 ersichtlich, einmal im Monat mit einem Maßstab vom Vegetationskegel bis zur Blattspitze des längsten Triebes gemessen. Es wird nur der vitale Teil eines Triebes vermessen, abgestorbene Triebspitzen zählen also nicht. Die Längenmessung erfolgte auf Zentimeter genau.

Im Ergebnisteil wird der Verlauf des Wachstums sowohl tabellarisch, als auch in Diagrammform gezeigt. Weiters wird der Zuwachs (nach größtem Wachstum gereiht) dargestellt. Der Zuwachs ergibt sich aus der Differenz der gemessenen Wuchslänge bei der ersten (26.09.2012) und der letzten Bonitur (13.02.2013).

Der Zuwachs wird sowohl absolut in Zentimetern als auch in Prozent angegeben. Der höchste Zuwachs wird dabei als 100 Prozent angenommen.



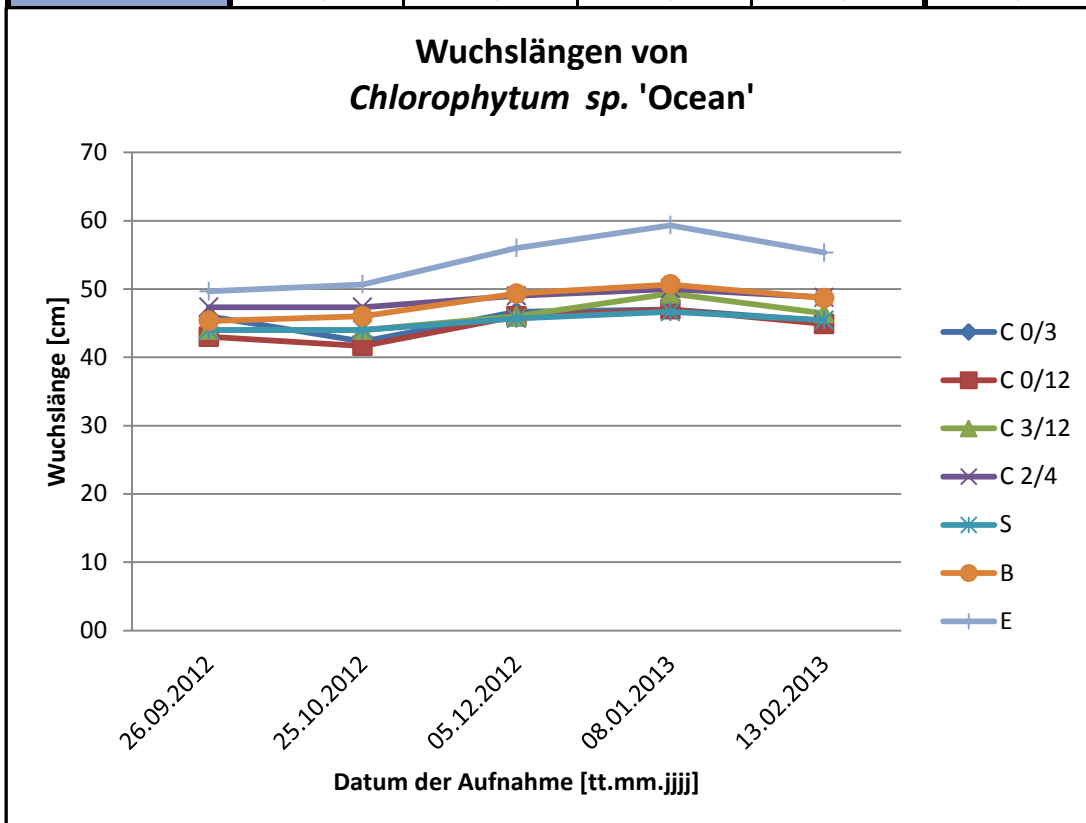
Abb.29. Messvorgang.

Bei der Bewertung ist ein Zuwachs von mehr als 50 % mit "gut" (grün hinterlegtes Feld) bewertet, ein Zuwachs zwischen 50 und 10 % als "mäßig" (gelb hinterlegt) und unter 10 % als "gering" (rot hinterlegt) definiert.

Der Parameter Wuchslänge ist allerdings differenziert zu betrachten, da der längste Trieb einer Pflanze wenig über ihr restliches Wuchsverhalten und über ihren Gesundheitszustand aussagt. (Im Gegenteil können Pflanzen, die mit ihrem Standort nicht zufrieden sind, manchmal sogar sogenannte "Geiltriebe" ausbilden).

5.2.2. Ergebnisse der Wuchslängenmessung bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Wuchslänge [cm]		von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>				
Substrat:	26.09.2012	25.10.2012	05.12.2012	08.01.2013	13.02.2013	
C 0/3	46,0	42,3	46,7	47,0	45,3	
C 0/12	43,0	41,7	46,0	47,0	44,9	
C 3/12	44,0	44,0	46,0	49,3	46,4	
C 2/4	47,3	47,3	49,0	50,0	48,8	
S	44,0	44,0	45,7	46,7	45,4	
B	45,3	46,0	49,3	50,7	48,7	
E	49,7	50,7	56,0	59,3	55,3	



Tab.11. Wuchslängen (gemittelt) mit Diagramm von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

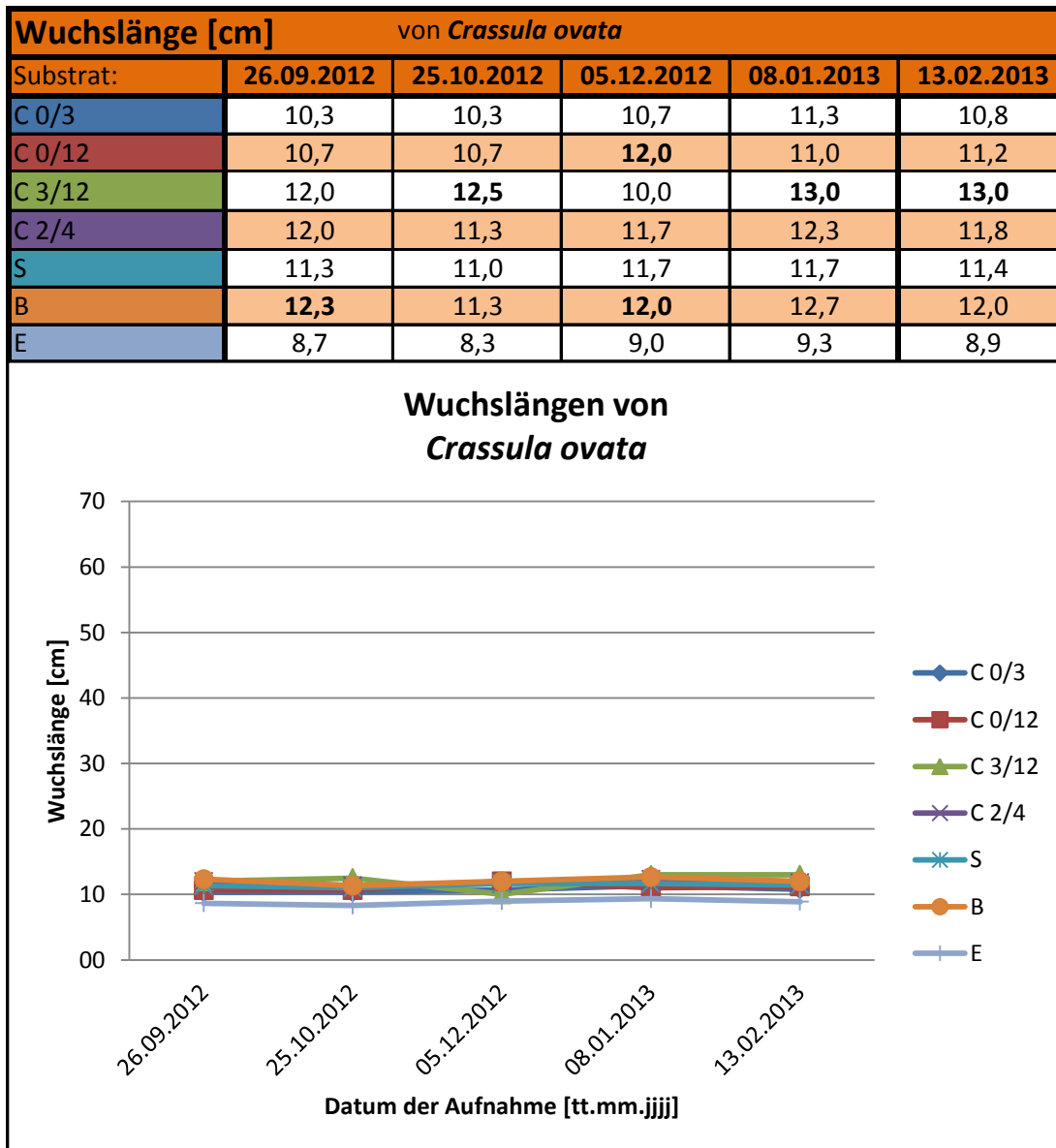
Bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* ist der Längenzuwachs bei der Substratvariante E deutlich am höchsten. Auch B konnte mit "gut" bewertet werden. C 3/12, C 0/12, C 2/4 sowie S können mit Werten zwischen 45% und 25% als "mäßig" gesehen werden.

Bei C 0/3 wurde sogar ein Rückgang verzeichnet, wodurch diese Substratvariante bei diesem Parameter mit "gering geeignet" bewertet wird (vgl. Tab. 11 und 12).

Zuwachs [cm] (gereiht) von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> 26.09.2012-13.02.2013		
Substrat:	[cm]	[%]
E	5,7	100,0
B	3,3	58,8
C 3/12	2,4	43,1
C 0/12	1,9	33,3
C 2/4	1,4	25,5
S	1,4	25,5
C 0/3	-0,7	-11,8

Tab.12. Zuwachs (gereiht) von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

5.2.3. Ergebnisse der Wuchslängenmessung bei *Crassula ovata*



Tab.13. Wuchslängen (gemittelt) mit Diagramm von *Crassula ovata* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

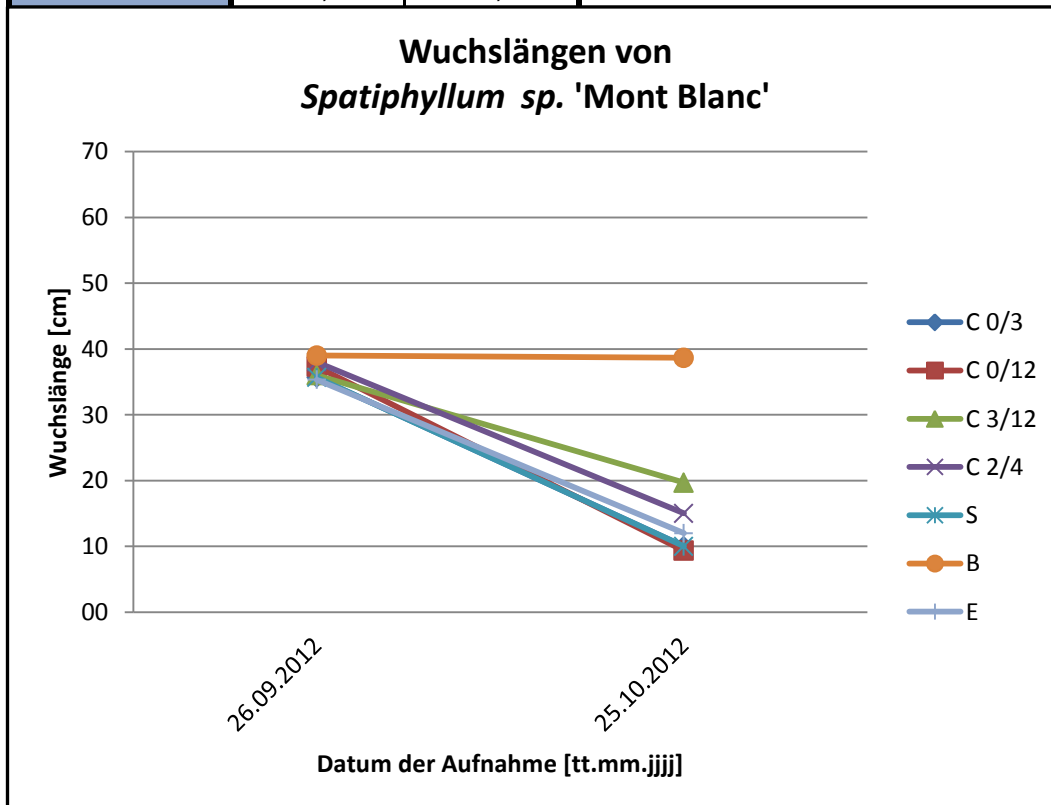
Bei *Crassula ovata* weisen die Substrate C 3/12 und 0/12 einen Zuwachs von über 50 Prozent auf und werden daher als "gut" gewertet. Die Substratvarianten C 0/3, E und S verzeichnen einen "mäßigen" Zuwachs, während die Substrate C 2/4 und B bei diesem Parameter als "gering geeignet" gewertet werden (vgl. Tab. 13 und 14).

Zuwachs [cm] (gereiht) von <i>Crassula ovata</i> 26.09.2012-13.02.2013		
Substrat:	[cm]	[%]
C 3/12	1,0	100,0
C 0/12	0,6	55,6
C 0/3	0,4	44,4
E	0,2	22,2
S	0,1	11,1
C 2/4	-0,2	-22,2
B	-0,3	-33,3

Tab.14. Zuwachs (gereiht) von *Crassula ovata* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

5.2.4. Ergebnisse der Wuchslängenmessung bei *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc'

Wuchslänge <i>Spatiphyllum</i> sp.		
Substrat:	26.09.2012	25.10.2012
C 0/3	35,7	10,0
C 0/12	37,3	9,3
C 3/12	36,0	19,7
C 2/4	38,0	15,0
S	35,7	10,0
B	39,0	38,7
E	35,3	12,0



Tab.15. Wuchslängen (gemittelt) mit Diagramm von *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc' von 26.09.2012 bis 25.10.2012.

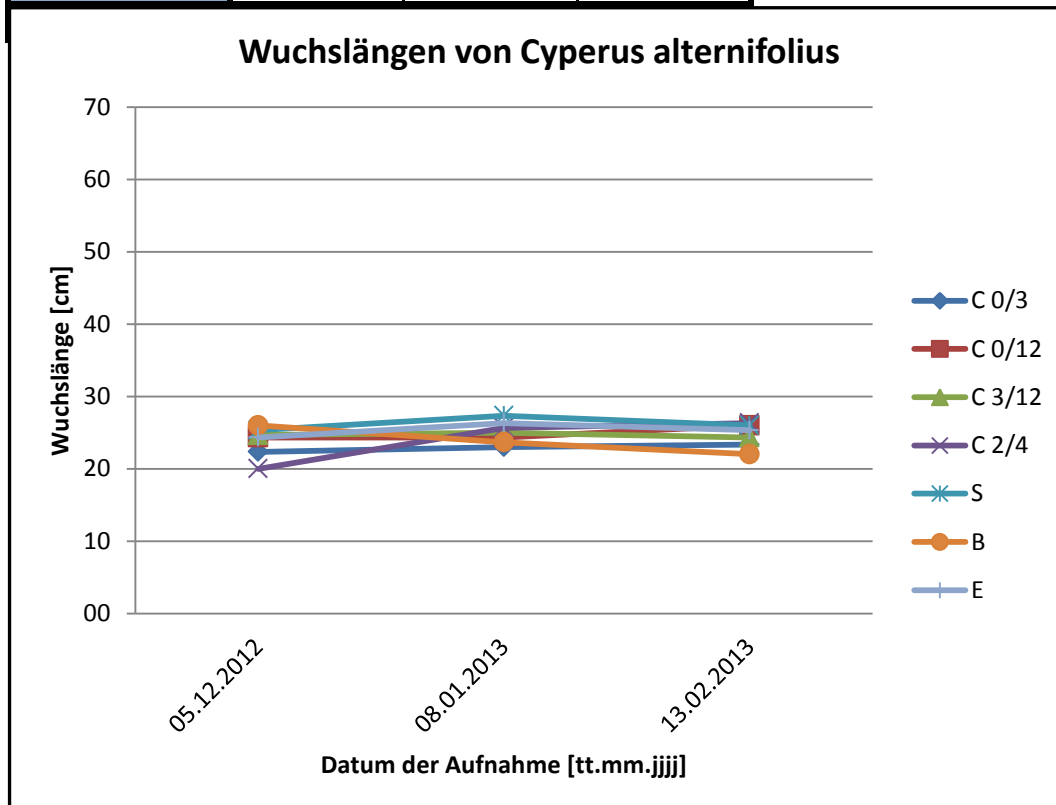
Zuwachs [cm] (gereiht) von <i>Spatiphyllum</i> sp. 'Mont Blanc'		
26.09.2012-25.10.2012		
Substrat:	[cm]	[%]
B	-0,3	1
C 3/12	-16,3	58
C 2/4	-23,0	82
E	-23,3	83
C 0/3	-25,7	92
S	-25,7	92
C 0/12	-28,0	100

Tab.16. Zuwachs (gereiht) von *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc' von 26.09.2012 bis 25.10.2012.

Da es bei *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc' aufgrund von Staunässebildung zum Absterben der meisten Pflanzen gekommen ist, kann in diesem Fall nur die Stärke des Rückgangs im Pflanzenwachstum beurteilt werden. In der Substratvariante B ist der Rückgang mit 1cm am geringsten. In dieser Substratvariante hat die Pflanze auch überlebt, weswegen B bei diesem Parameter mit "mäßig geeignet" bewertet werden kann. Ein verhältnismäßig geringer Rückgang im Pflanzenwachstum kann auch bei C 3/12 verzeichnet werden. Alle übrigen Substratvarianten weisen sehr starke Rückgänge auf (vgl. Tab. 15 und 16).

5.2.5. Ergebnisse der Wuchslängenmessung bei *Cyperus alternifolius*

Wuchslänge [cm] von <i>Cyperus alternifolius</i>			
Substrat:	05.12.2012	08.01.2013	13.02.2013
C 0/3	22,3	23,0	23,3
C 0/12	24,3	24,3	26,0
C 3/12	24,7	25,0	24,3
C 2/4	20,0	25,7	26,3
S	25,3	27,3	26,0
B	26,0	23,7	22,0
E	24,3	26,3	25,3



Tab.17. Wuchslängen (gemittelt) mit Diagramm von *Cyperus alternifolius* von 05.12.2012 bis 13.02.2013.

Zuwachs [cm] (gereiht) von <i>Cyperus alternifolius</i> 05.12.2012-13.02.2013		
Substrat:	[cm]	[%]
C 2/4	6,3	100,0
C 0/12	1,7	26,3
C 0/3	1,0	15,8
E	1,0	15,8
S	0,7	10,5
C 3/12	-0,3	-5,3
B	-4,0	-63,2

Tab.18. Zuwachs (gereiht) von *Cyperus alternifolius* von 05.12.2012 bis 13.02.2013.

Bei *Cyperus alternifolius* wird in der Substratvariante C 2/4 mit 5,7cm der höchste Zuwachs gemessen und mit der Note "gut" bewertet. Die Substrate S und E weisen einen Zuwachs von 2cm auf und werden als "mäßig" gewertet. C 0/3 kann gerade noch als "mäßig" gewertet werden, während die Substratvarianten C 0/3, C 0/12 und B als "gering geeignet" bewertet werden (vgl. Tab. 17 und 18).

5.3. Infloreszenz bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Die Infloreszenz (Blühfreude) einer Pflanze gibt Aufschluss über deren Gesundheitszustand. Bei *Chlorophytum sp.* kann die Bildung einer Blüte, und in weiterer Folge die Ausbildung von Kindeln, mit einem guten Gesundheitszustand gleichgesetzt werden. Kindel sind Tochterpflanzen, die sich bereits an der Mutterpflanze bilden (FLEHMIG, STRAUSS, 2000). Je vitaler die Pflanze, umso mehr Kindel bildet sie.

5.3.1. Methode zur Bestimmung der Infloreszenz

Bei der Aufnahme der Infloreszenz wird vermerkt, ob sich die Pflanze zum Zeitpunkt der Bonitur in Blüte befand. Anzahl der Blüten werden nicht aufgezeichnet. Nach jeder Bonitur werden die neu gebildeten Blühtriebe entfernt, um beim nächsten Mal nur die tatsächlich neuen Blüten erfassen zu können.

Bei der Bewertung werden die Substrate, in denen zum Zeitpunkt der Aufnahme alle Pflanzen in Blüte stehen (3/3) als "gut" (grün hinterlegt) bewertet. Bei 2/3 und 1/3 wird ein "mäßig" vergeben (gelb hinterlegt). Fand keine Blüte statt, wird das Feld (rot hinterlegt) als "gering" gekennzeichnet.

5.3.2. Ergebnisse zur Infloreszenz

Infloreszenz von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>					
Substrat:	26.09.2012	25.10.2012	05.12.2012	08.01.2013	13.02.2013
C 0/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3
C 0/12	2/3	3/3	3/3	1/3	2/3
C 3/12	3/3	3/3	3/3	1/3	3/3
C 2/4	3/3	3/3	3/3	2/3	3/3
S	2/3	3/3	3/3	0/3	2/3
B	3/3	3/3	3/3	2/3	3/3
E	3/3	3/3	3/3	2/3	3/3

Tab.19. Infloreszenz bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* von 26.09.2012 bis 13.02.2013.

Bei *Chlorophytum sp. comosum* kann die Bildung einer Blüte (in diesem Fall der Ausbildung von Ablegern, der sogenannten "Kindel") mit einem guten Gesundheitszustand gleichgesetzt werden. Je vitaler die Pflanze, umso mehr Kindel bildet sie. In der Substratvariante C 0/3 fand während des gesamten Versuchszeitraumes bei allen Pflanzen eine Blütenbildung statt, bei den Substratvarianten E und B war nur einmal (am 08.01.2013) eine Pflanze nicht infloreszent. Außer in S, wo am 08.01.2013 bei keiner Pflanze Blüten zu sehen waren, war die Infloreszenz in den übrigen Substratvarianten ähnlich (vgl. Tab. 19).

5.4. Blattfestigkeit bei *Crassula ovata*

Dieser Parameter wurde nur bei *Crassula ovata* erhoben, da bei Dickblattpflanzen (*Crassulacaen*) die Blattfestigkeit Aussagen zum Gesundheitszustand der Pflanze zulässt. Ist das Blatt prall und fest, ist die Pflanze optimal versorgt und in gutem Zustand. Schlaaffe Blätter deuten entweder auf Trockenheit oder einen zu feuchten Standort hin.

5.4.1. Methode zur Bestimmung der Blattfestigkeit bei *Crassula ovata*

Bei der Bonitur wurde von jeweils zwei Personen die Blattfestigkeit durch Drücken der Blätter mit Daumen und Zeigefinger festgestellt. Die Bewertung erfolgte auf einer Skala von 1 bis 3, wobei "1" ein festes, pralles Blatt (grün hinterlegt), "2" mittlere Druckfestigkeit (gelb hinterlegt) und "3" ein lasches Blatt (rot hinterlegt) beschreibt.

5.4.2. Ergebnisse der Bestimmung der Blattfestigkeit bei *Crassula ovata*

Blattfestigkeit von <i>Crassula ovata</i>					
Substrat:	25.10.2012	05.12.2012	08.01.2013	13.02.2013	29.04.2013
C 0/3	1,7	1,7	1,7	1,7	3,0
C 0/12	1,0	1,7	1,3	1,3	3,0
C 3/12	1,7	2,0	2,0	1,9	1,5
C 2/4	1,0	1,3	1,3	1,2	1,5
S	1,3	2,0	1,7	1,7	2,0
B	1,0	1,3	1,3	1,2	2,5
E	2,3	2,7	2,3	2,4	1,5

Tab.20. Blattfestigkeit bei *Crassula ovata* von 26.09.12 bis 29.04.2013.

Ein Vergleich der Werte innerhalb des Versuchszeitraumes mit denen der Nachbonitur zeigt, dass sich die Druckfestigkeit in allen Substratvarianten verschlechtert hat. Die geringsten Werte werden bei der Nachbonitur am 29.04.2013 in C 0/3 und 0/12 sowie B festgestellt.

5.5. Biomasse

Die Biomasse ist das Gewicht der Pflanze. Sie wird in frischem sowie getrocknetem Zustand erhoben und gibt Aufschluss, über den Zuwachs der einzelnen Pflanzenteile.

5.5.1. Methode zur Bestimmung der Biomasse

Zu Versuchsbeginn werden drei Referenzpflanzen je Art systematisch zerschnitten und in frischem Zustand mit einer Feinwaage (Abb.30 und 31) auf 0,1 g genau gewogen (Biomasse frisch). Ermittelt werden das Gesamtgewicht, die Masse der oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteile, die Blattmasse sowie die der restlichen oberirdischen Pflanzenteile (Zweige). Daraus wird die durchschnittliche Masse der Art zum Zeitpunkt des Setzens errechnet. Anschließend werden die Pflanzenteile im Trockenschrank bei 80° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und wiederum gewogen (Biomasse trocken) (s. Aufnahme tabellen Referenzpflanzen im Anhang).

Am Ende der Versuchslaufzeit werden die Pflanzen einer ausgewählten Versuchsreihe (je eine Pflanze pro Substratvariante und Zeigerart) entnommen, systematisch zerschnitten und nach denselben Kriterien gewogen (Biomasse frisch), getrocknet und wieder gewogen (Biomasse trocken) (s. Aufnahme tabellen Endaufnahme im Anhang).



Abb.30. *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc' auf der Feinwaage.



Abb.31. Messgeräte.

Durch einen Vergleich der ermittelten Daten (Referenzpflanzen mit entnommenen Pflanzen) kann der Biomassezuwachs im Versuchszeitraum bestimmt werden.

Der Zuwachs wird im Ergebnisteil sowohl absolut, als auch in Prozent angegeben, wobei jeweils die Masse der größten Pflanze als 100 % (entspricht dem größtmöglichem Zuwachs im Versuchszeitraum) gesehen wird.

Ein Zuwachs von über 50% wird als "gut" bewertet (grün hinterlegt), zwischen 10 % und 49 % als "mäßig" (gelb hinterlegt) und unter 10 % als "gering" (rot hinterlegt).

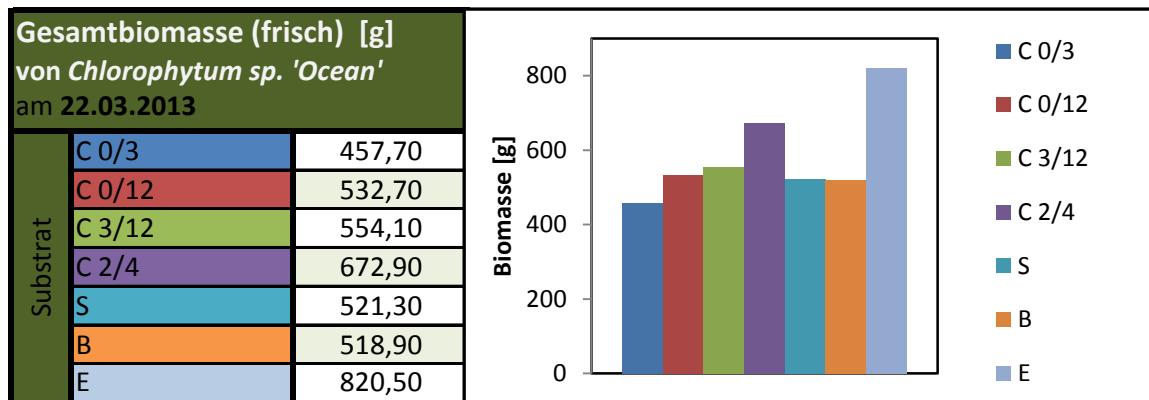
Bewertet wird die Gesamtbiomasse, sowie die Blattmasse.

Ergänzend wird auch das Verhältnis der oberirdischen zu den unterirdischen Pflanzenteilen dargestellt.

5.5.2. Ergebnisse zur Biomasse bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* in frischem Zustand

Gesamtbiomasse von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Die Gesamtbiomasse gibt die Masse der Pflanze (in frischem Zustand) in Gramm an. Der Zuwachs wurde in Bezug auf die gemittelte Masse der Referenzpflanzen (Masse der Pflanzen vor Beginn des vegetationstechnischen Monitorings = 287,2 g) ermittelt.



Tab.21. Gesamtbiomasse frisch mit Diagramm von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

Gesamtbiomasse (frisch) [g] von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013		Zuwachs seit 12.09.2012	Zuwachs [%]	
Substrat	E	820,50	533,31	100,0
	C 2/4	672,90	385,71	72,3
	C 3/12	554,10	266,91	50,0
	C 0/12	532,70	245,51	46,0
	S	521,30	234,11	43,9
	B	518,90	231,71	43,4
	C 0/3	457,70	170,51	32,0

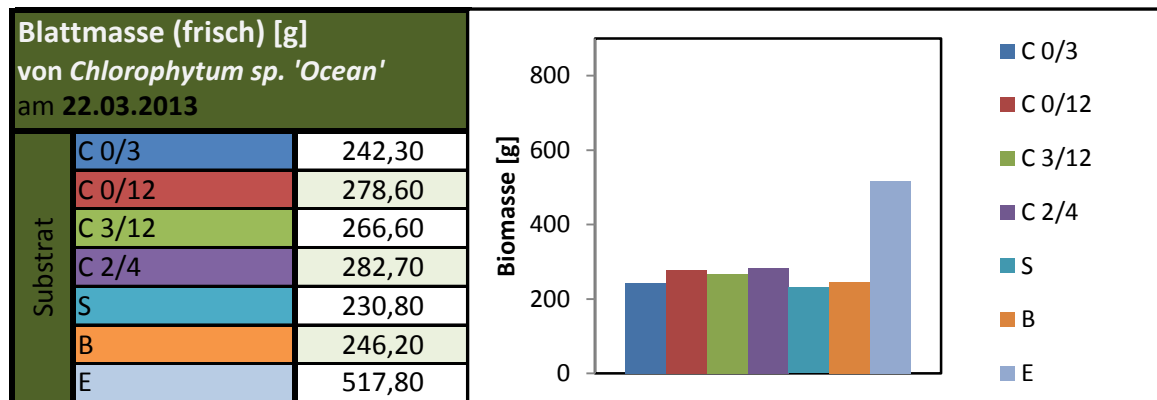
Tab.22. Gesamtbiomasse frisch (gereiht) von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

Insgesamt am meisten Biomassezuwachs wird bei der nährstoffhungrigen Pflanze *Chlorophytum sp. 'Ocean'* im Substrat E (torffreie Blumenerde) erreicht. Ebenfalls mit "gut" wird der Biomassezuwachs in den Substraten aus natürlich gebranntem Ton C mit den Körnungen 2/4 und 3/12 bewertet, alle übrigen Substrate können mit "mäßig" gewertet werden (vgl. Abb. 21 und 22).

Es liegt der Rückschluss nahe, dass in Substratvarianten mit einer höheren Gesamtmasse (also vor allem bei C 2/4) ein größeres Wurzelwachstum stattgefunden hat (vgl. Tab. 27 bis 30 und Abb. 32, in der das Wachstum der unterirdischen und oberirdischen Pflanzenteile graphisch dargestellt wird).

Blattmasse von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Die Blattmasse gibt das Gewicht der Blätter (in frischem Zustand) in Gramm an. Der Zuwachs wurde in Bezug auf die gemittelte Masse der Referenzpflanzen (Masse der Pflanzen vor Beginn des vegetationstechnischen Monitorings = 173,1 g) ermittelt.



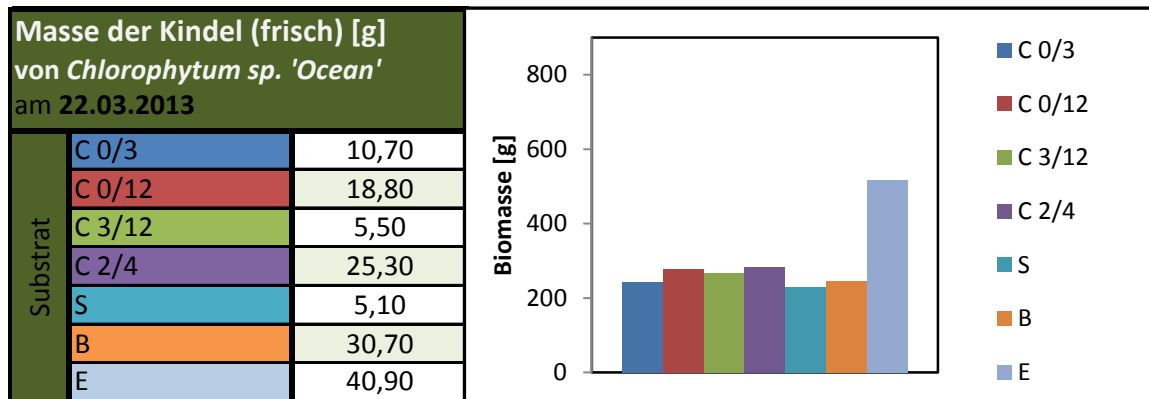
Tab.23. Blattmasse frisch mit Diagramm von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

Blattmasse (frisch) [g] von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013		Zuwachs seit 12.09.2012	Zuwachs [%]	
Substrat	E	517,80	344,73	100,0
	C 2/4	282,70	109,63	31,8
	C 0/12	278,60	105,53	30,6
	C 3/12	266,60	93,53	27,1
	B	246,20	73,13	21,2
	C 0/3	242,30	69,23	20,1
	S	230,80	57,73	16,7

Tab.24. Blattmasse frisch (gereiht) von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

Bei Betrachtung der Blattmasse liegt das Gewicht der Blätter in der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) mit 517,80 g weit vorne. Die Blattmasse in den übrigen Substraten bewegt sich in einem Rahmen zwischen 282,70 und 230,80 g, weswegen nur die Substratvariante E mit "gut" bewertet werden kann. Die Blattmassebildung bei den übrigen Substratvarianten wird mit "mäßig" bewertet (vgl. Tab. 23 und 24).

Biomasse der Kindel von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*



Tab.25. Masse der Kindel frisch mit Diagramm von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

Masse der Kindel (frisch) [g] von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013		(gereiht)	[%]
Substrat	E	40,90	100,0
	B	30,70	75,1
	C 2/4	25,30	61,9
	C 0/12	18,80	46,0
	C 0/3	10,70	26,2
	C 3/12	5,50	13,4
	S	5,10	12,5

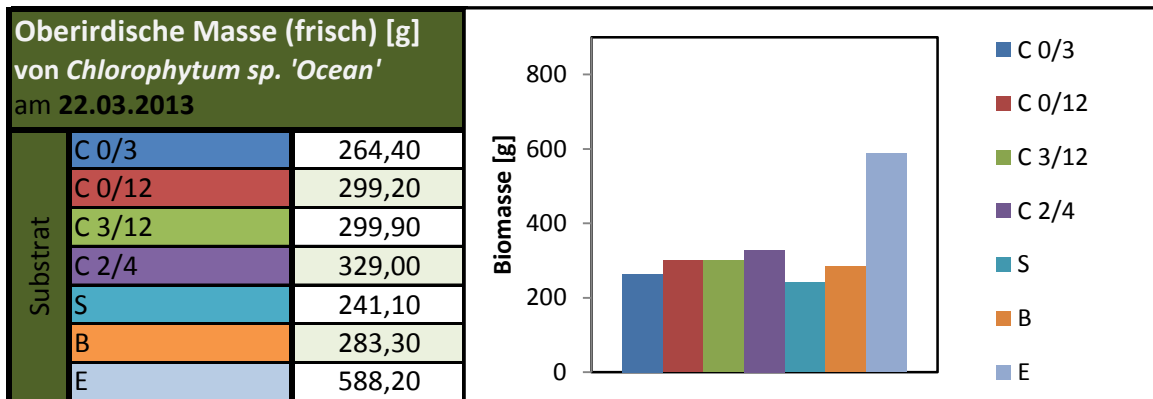
Tab.26. Masse der Kindel frisch (gereiht)
von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

Die Biomasse der Kindel (Ableger) von *Chlorophytum sp. Ocean'* ist in der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) mit 40,9 g am höchsten. Die Substrate B (Blähtonkugeln) und C 2/4 (natürlich gebrannter Ton) erreichen Werte über 50 % und werden somit mit "gut" bewertet.

In den folgenden Tabellen (27 bis 30) und in Abb. 32 wird das Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Masse angeführt. Prinzipiell deutet eine Erhöhung des Anteiles an unterirdischer Biomasse (Wurzelmasse) im Vergleich zum Anteil der Wurzelmasse der Referenzpflanzen zu Versuchsbeginn auf Mangelerscheinungen hin. Es wird im Zuge dieser Untersuchung aber nicht näher darauf eingegangen.

Im Anhang finden sich die Werte der ermittelten getrockneten Biomasse, die im Gegensatz zur frischen Biomasse die tatsächlich ausgebildete Biomasse darstellt. Da höhere Werte bei der frischen Biomasse aber in Abhängigkeit zur Vitalität der Pflanze stehen (eine gesunde Pflanze hat ein höheres Wasseraufnahmevermögen und daher ein höheres Gewicht), sind die Daten der frischen Biomasse für diese Untersuchung relevanter.

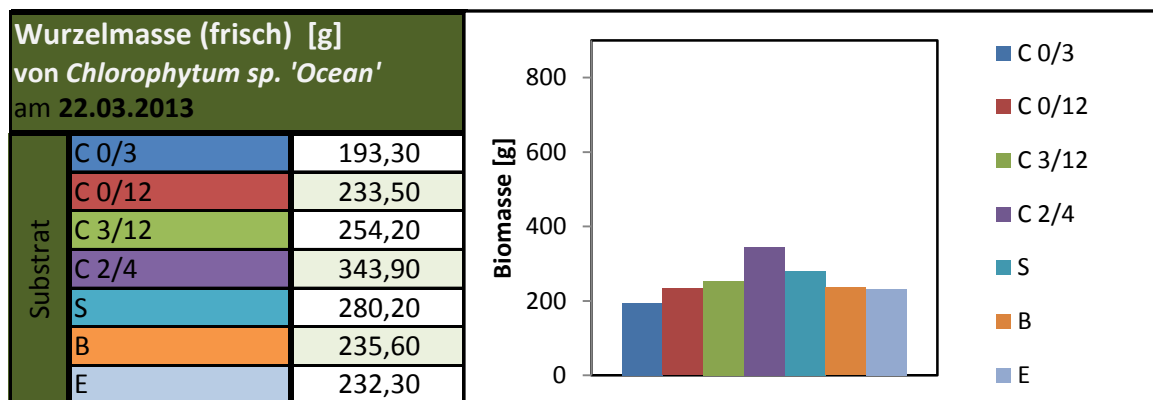
Oberirdische und unterirdische Biomasse von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*



Tab.27. Oberirdische Masse frisch mit Diagramm von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

Oberirdische Masse (frisch) [g] von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013		Zuwachs seit 12.09.2012	Zuwachs [%]
Substrat	E	588,20	100,0
	C 2/4	329,00	36,2
	C 3/12	299,90	29,0
	C 0/12	299,20	28,9
	B	283,30	24,9
	C 0/3	264,40	20,3
	S	241,10	14,5

Tab.28. Oberirdische Masse frisch (gereiht) von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.



Tab.29. Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch mit Diagramm von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

Wurzelmasse (frisch) [g] von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013		Zuwachs seit 12.09.2012	Zuwachs [%]
Substrat	C 2/4	343,90	100,0
	S	280,20	73,3
	C 3/12	254,20	62,4
	B	235,60	54,6
	C 0/12	233,50	53,8
	E	232,30	53,2
	C 0/3	193,30	36,9

Tab.30. Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch (gereiht) von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 22.03.2013.

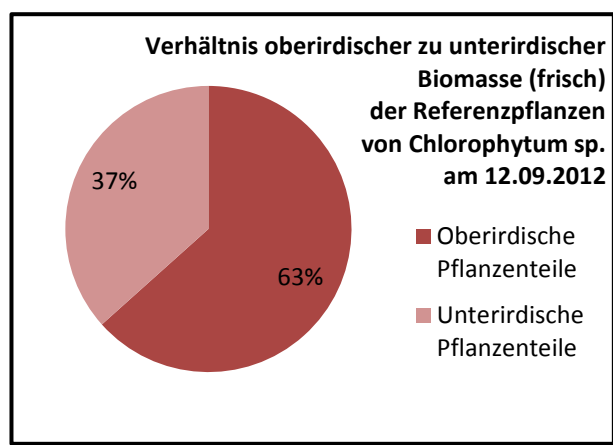
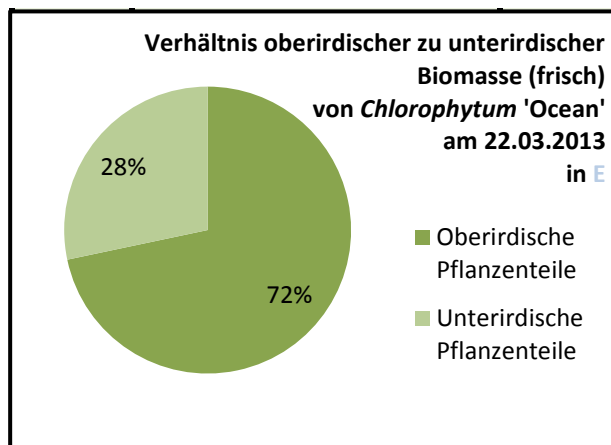
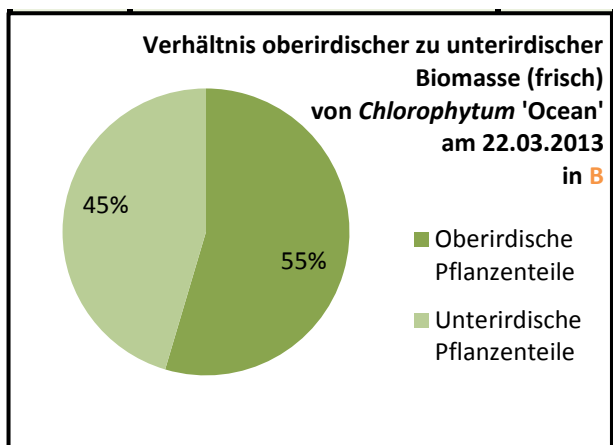
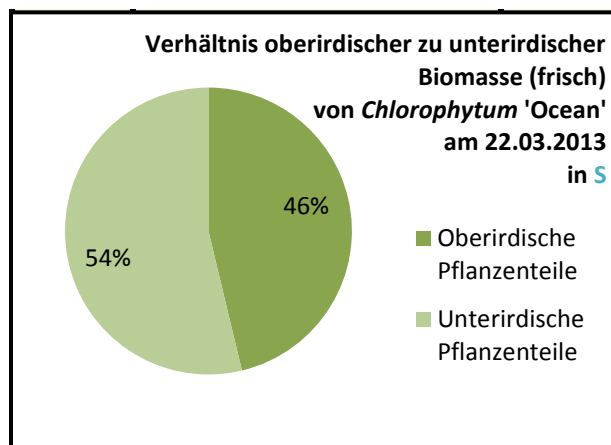
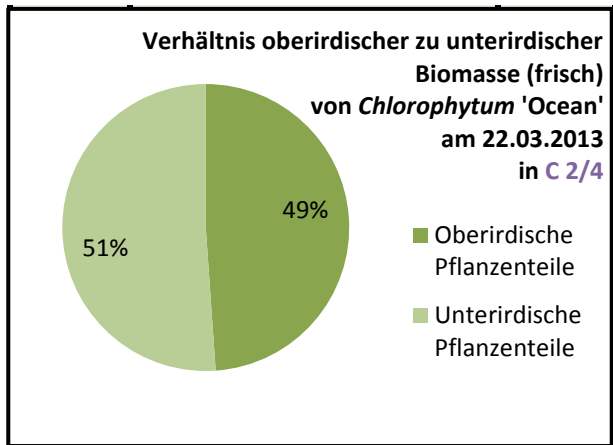
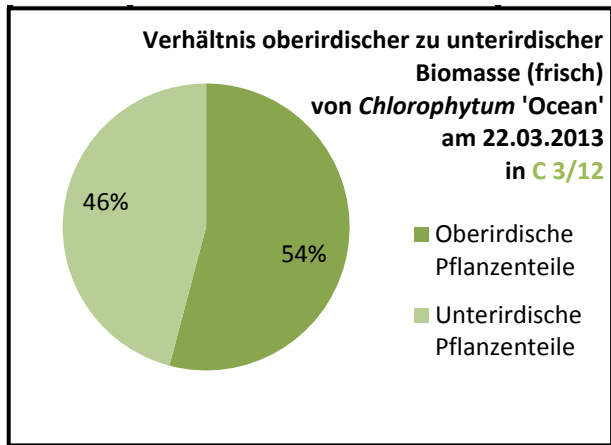
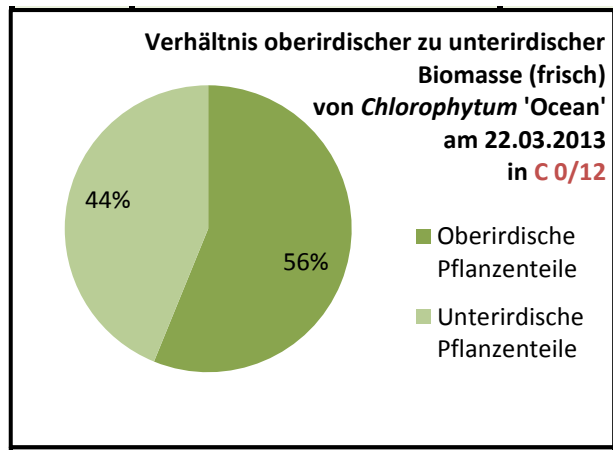
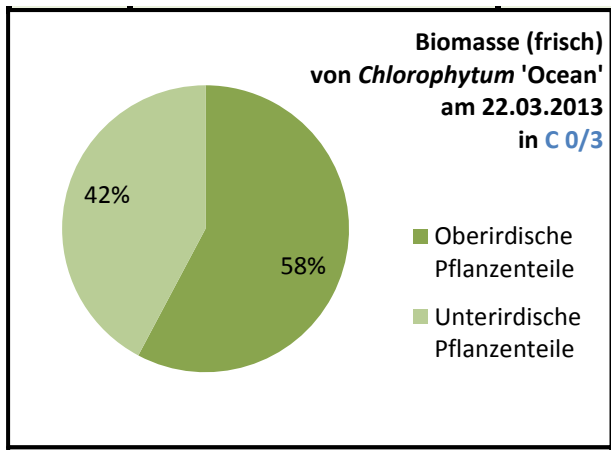
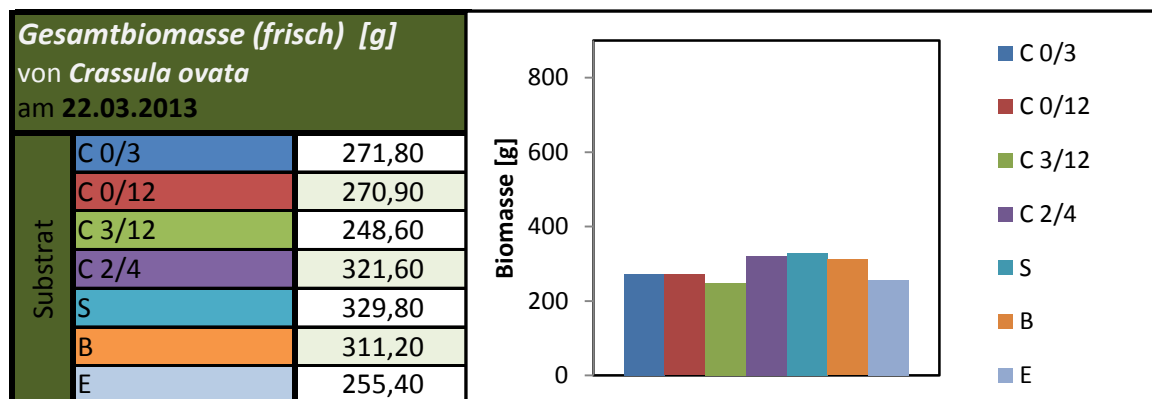


Abb.32. Verhältnis unterirdischer zu oberirdischer Masse bei *Chlorophytum* sp. 'Ocean' (in frischem Zustand) in den verschiedenen Substratvarianten bei Versuchsende (grüne Diagramme) im Vergleich zu den Referenzpflanzen bei Versuchsbeginn (rotes Diagramm).

5.5.3. Ergebnisse zur Biomasse bei *Crassula ovata* in frischem Zustand

Gesamtbiomasse von *Crassula ovata*

Die Gesamtbiomasse gibt das Gewicht der Pflanze (in frischem Zustand) in Gramm an. Der Zuwachs wurde in Bezug auf die gemittelte Gesamtbiomasse der Referenzpflanzen (Masse der Pflanzen vor Beginn des vegetationstechnischen Monitorings = 227,2 g) ermittelt.



Tab.31. Gesamtbiomasse frisch mit Diagramm von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

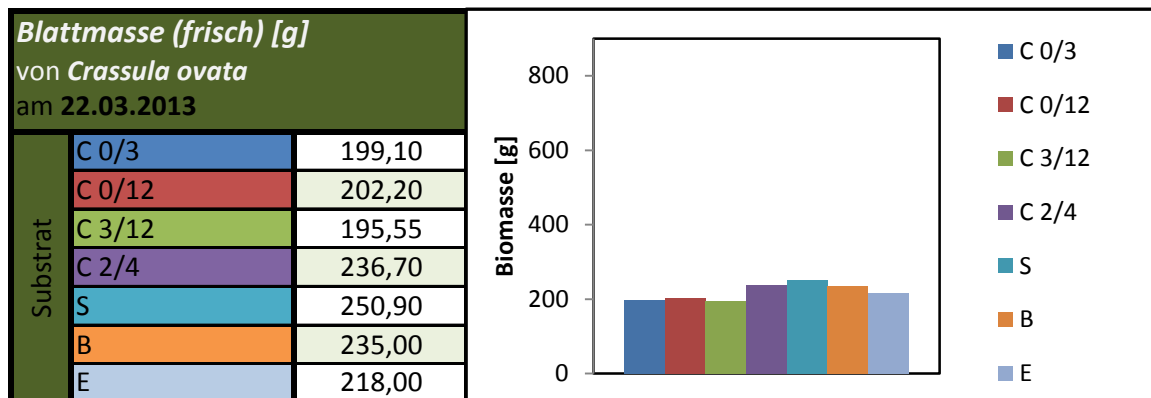
Gesamtbiomasse (frisch) [g] von <i>Crassula ovata</i> (gereiht)		Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]	
Substrat	S	329,80	102,60	100,0
	C 2/4	321,60	94,40	92,0
	B	311,20	84,00	81,9
	C 0/3	271,80	44,60	43,5
	C 0/12	270,90	43,70	42,6
	E	255,40	28,20	27,5
	C 3/12	248,60	21,40	20,9

Tab.32. Gesamtbiomasse frisch (gereiht) von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

Bei der Messung der Gesamtbiomasse von *Crassula ovata* können in den Substraten S (Blähtongranulat), C 2/4 (natürlich gebrannter Ton) und B (Blähtonkugeln) die besten Ergebnisse gemessen werden (über 80 % Zuwachs). Die Bewertung der übrigen Substratvarianten erfolgt, bei einem Zuwachs von 20-50 %, mit "mäßig" (vgl. Tab. 31 und 32).

Blattmasse von *Crassula ovata*

Die Blattmasse gibt das Gewicht der Blätter (in frischem Zustand) in Gramm an. Der Zuwachs wurde in Bezug auf die gemittelte Blattmasse der Referenzpflanzen (Masse der Pflanzen vor Beginn des vegetationstechnischen Monitorings = 160,7 g) ermittelt.



Tab.33. Blattmasse frisch mit Diagramm von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

Blattmasse (frisch) [g] von <i>Crassula ovata</i> (gereiht)		Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]	
22.03.13				
Substrat	S	250,90	90,23	100,0
	C 2/4	236,70	76,03	84,3
	B	235,00	74,33	82,4
	E	218,00	57,33	63,5
	C 0/12	202,20	41,53	46,0
	C 0/3	199,10	38,43	42,6
	C 3/12	195,55	34,88	38,7

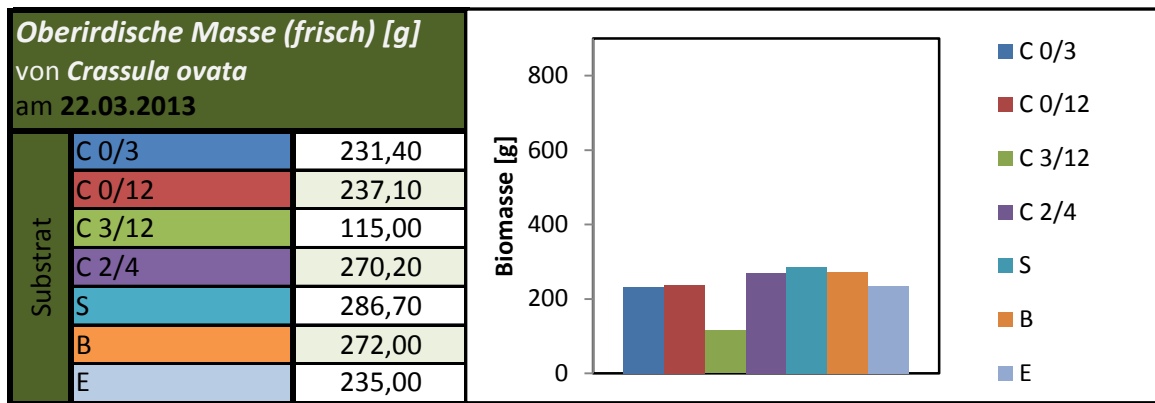
Tab.34. Blattmasse frisch (gereiht) von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

Bei Betrachtung der Blattmasse wird bei den Substratvarianten S (Blähtongranulat), C 2/4 (natürlich gebrannter Ton) und B (Blähton) ein Zuwachs von über 80 % verzeichnet. Auch die Substratvariante E (torffreie Blumenerde) wird mit einem Zuwachs von mehr als 60 % mit "gut" bewertet. Bei den übrigen Substraten ist der Zuwachs der Blattmasse "mäßig" (vgl. Tab. 33 und 34).

In den folgenden Tabellen (35 bis 38) wird das Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Masse angeführt. In Abb. 33 wird das Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Masse in den verschiedenen Substratvarianten im Vergleich zu den Referenzpflanzen grafisch dargestellt.

Im Anhang finden sich die Werte der ermittelten getrockneten Biomasse.

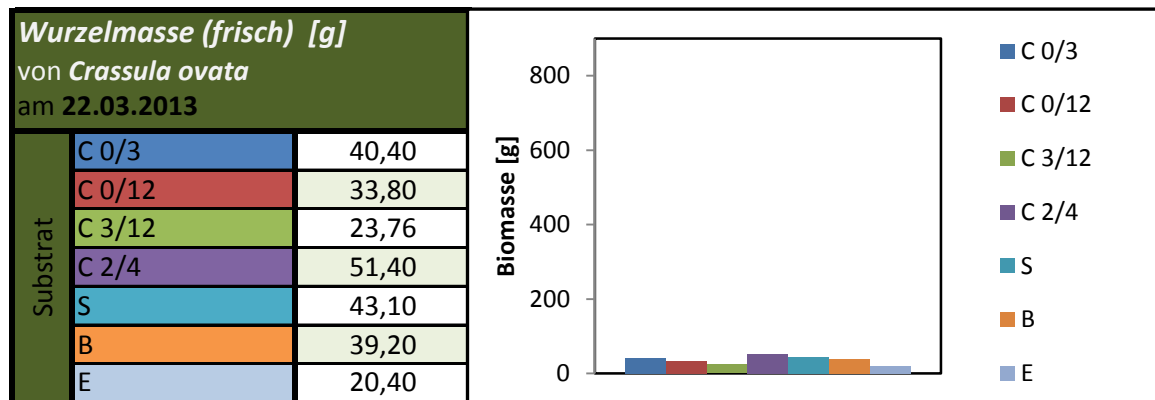
Oberirdische und unterirdische Biomasse von *Crassula ovata*



Tab.35. Oberirdische Masse frisch mit Diagramm von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

Oberirdische Masse (frisch) [g] von <i>Crassula ovata</i> (gereiht) 22.03.13		Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]	
Substrat	S	286,70	100,93	100,0
	B	272,00	86,23	85,4
	C 2/4	270,20	84,43	83,7
	C 0/12	237,10	51,33	50,9
	E	235,00	49,23	48,8
	C 0/3	231,40	45,63	45,2
	C 3/12	224,58	38,81	38,5

Tab.36. Oberirdische Masse frisch (gereiht) von *Crassula ovata* am 22.03.2013.



Tab.37. Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch mit Diagramm von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

Wurzelmasse (frisch) [g] von <i>Crassula ovata</i> (gereiht) 22.03.13		Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]	
Substrat	C 2/4	51,40	23,27	100,0
	S	43,10	14,97	64,3
	C 0/3	40,40	12,27	52,7
	B	39,20	11,07	47,6
	C 0/12	33,80	5,67	24,4
	C 3/12	23,76	-4,37	-18,8
	E	20,40	-7,73	-33,2

Tab.38. Unterirdische Masse = Wurzelmasse (gereiht) von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

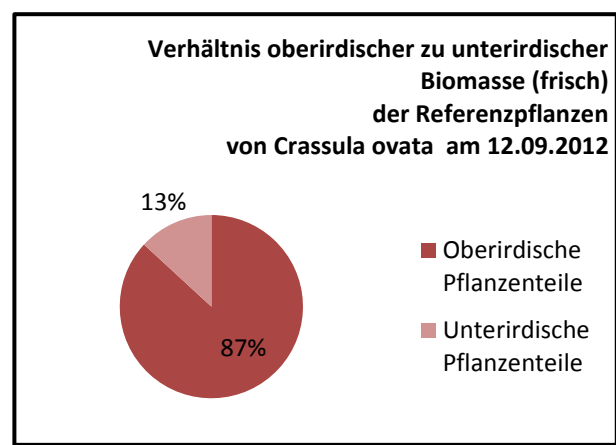
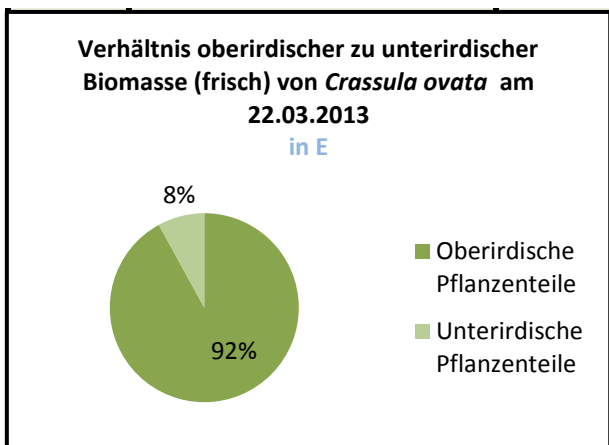
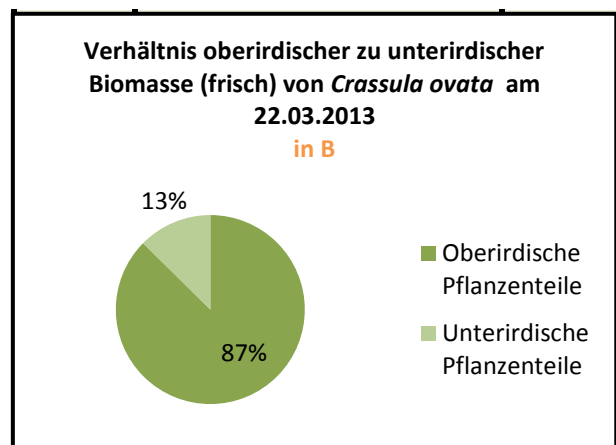
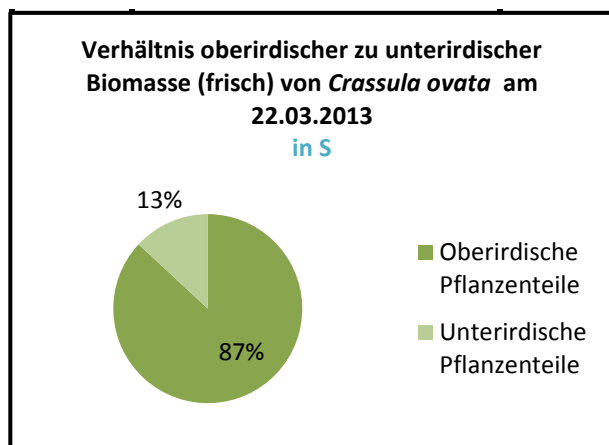
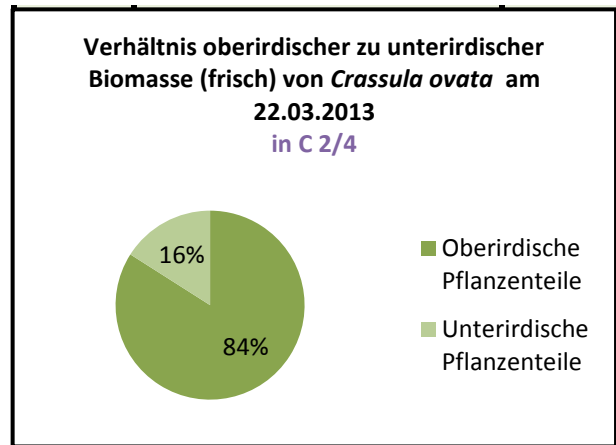
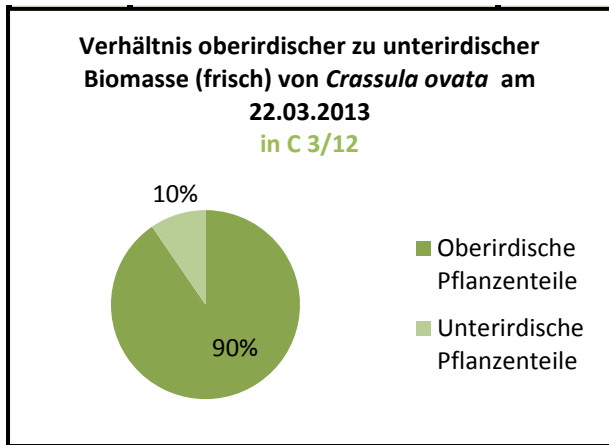
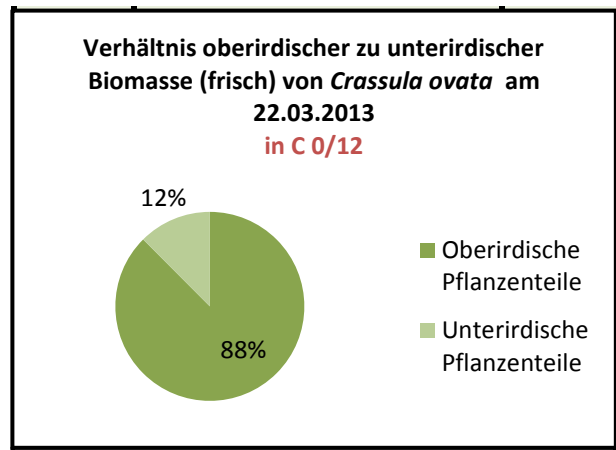
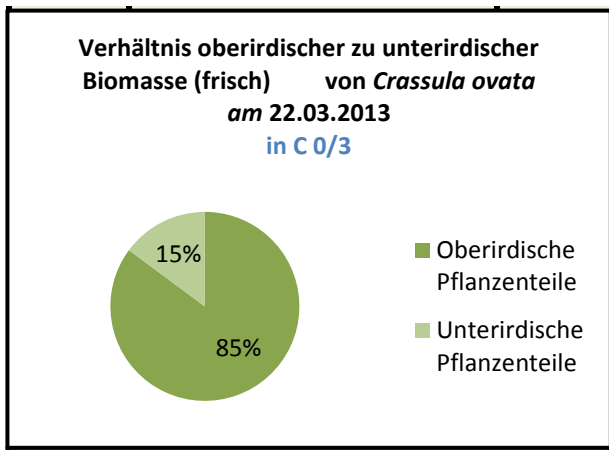
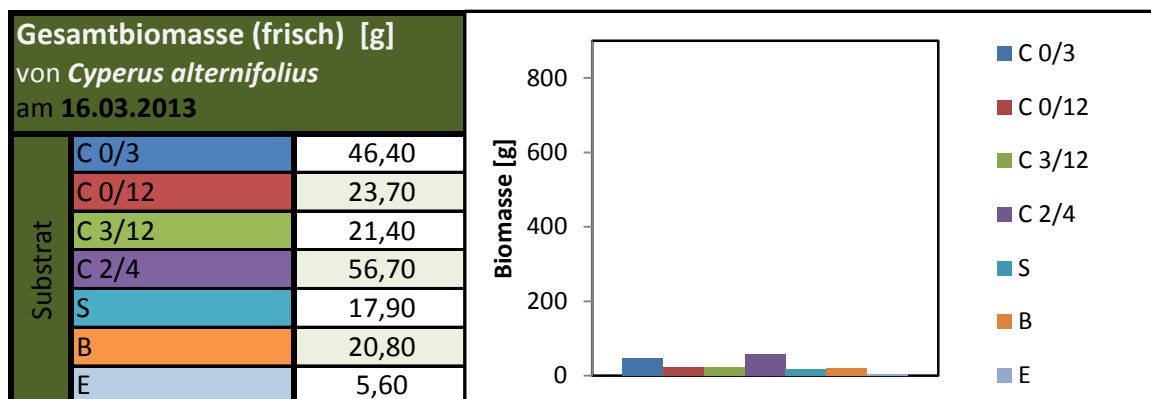


Abb.33. Verhältnis unterirdischer zu oberirdischer Masse bei *Crassula ovata* (in frischem Zustand) in den verschiedenen Substratvarianten bei Versuchsende (grüne Diagramme) im Vergleich zu den Referenzpflanzen bei Versuchsbeginn (rotes Diagramm).

5.5.4. Ergebnisse zur Biomasse bei *Cyperus alternifolius* in frischem Zustand

Gesamtbiomasse von *Cyperus alternifolius*

Die Gesamtbiomasse gibt das Gewicht der Pflanze (in frischem Zustand) in Gramm an. Der Zuwachs wurde in Bezug auf die gemittelte Gesamtbiomasse der Referenzpflanzen (Masse der Pflanzen vor Beginn des Vegetationstechnischen Monitorings = 8,6 g) ermittelt.



Tab.39. Gesamtbiomasse frisch mit Diagramm von *Cyperus alternifolius* am 16.03.2013.

Gesamtbiomasse (frisch) [g] von <i>Cyperus alternifolius</i> (gereiht)		Zuwachs seit 16.03.2012	Zuwachs [%]	
Substrat	C 2/4	56,70	48,10	100,0
	C 0/3	46,40	37,80	78,6
	C 0/12	23,70	15,10	31,4
	C 3/12	21,40	12,80	26,6
	B	20,80	12,20	25,4
	S	17,90	9,30	19,3
	E	5,60	-3,00	-6,2

Tab.40. Gesamtbiomasse frisch (gereiht) von *Cyperus alternifolius* am 16.03.2013.

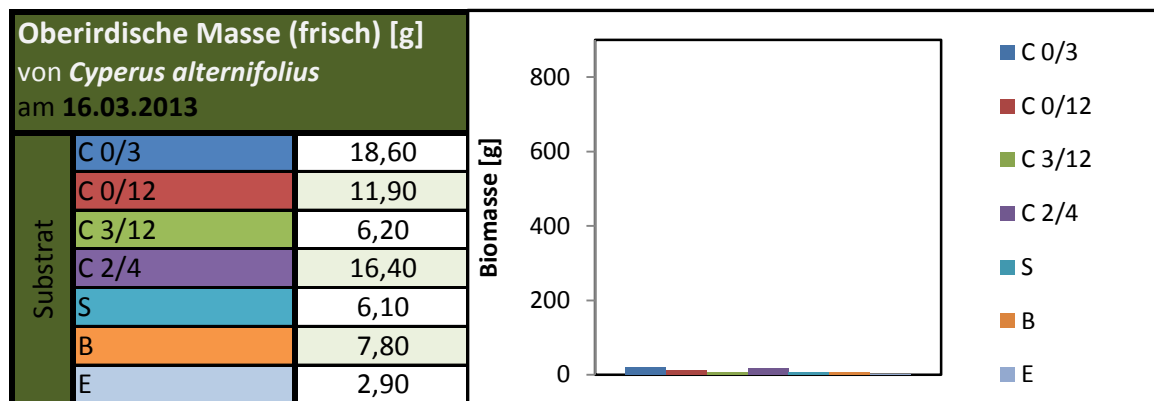
Bei der Messung der Gesamtbiomasse (Tab. 39 und 40.) von *Cyperus alternifolius* können nur die Substrate aus natürlich gebranntem Ton C 2/4 sowie C 0/3 einen Zuwachs von über 50% erreichen. Bei C 0/12, C 3/12, B (Blähtonkugeln) und S (Blähtongranulat) lag der Zuwachs zwischen 32 und 19 %. E (torffreie Blumenerde) muss mit einem Masserückgang als "gering geeignet" gewertet werden.

Bei Messung der oberirdischen Masse (Tab. 41 und 42), die bei *Cyperus alternifolius* mit der Blattmasse gleichzusetzen ist (Blattmasse der Referenzpflanzen: 5,5 g), erreichen nur mehr C 0/3 und C 2/4 eine Beurteilung mit "gut" (grün hinterlegt). Die Substrate C 0/12 und B verhalten sich beim Zuwachs der oberirdischen Masse "mäßig" (gelb hinterlegt). Unter 10 % lag der Zuwachs in den Substraten C 3/12 und S, der Zuwachs bei der Substratvariante E liegt sogar im negativen Bereich (rot hinterlegt).

In den folgenden Tabellen (41 bis 44) wird das Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Masse angeführt. In Abb. 34 wird das Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Masse in den verschiedenen Substratvarianten im Vergleich zu den Referenzpflanzen grafisch dargestellt.

Im Anhang finden sich die Werte der ermittelten getrockneten Biomasse.

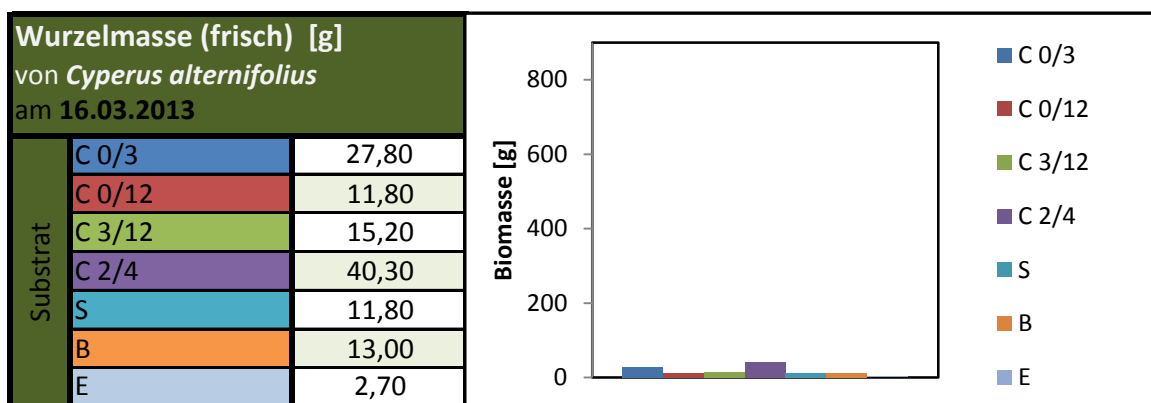
Oberirdische und unterirdische Masse von *Cyperus alternifolius*



Tab.41. Oberirdische Masse = Blattmasse frisch mit Diagramm von *Cyperus alternifolius* am 16.03.2013.

Oberirdische Masse (frisch) [g] von <i>Cyperus alternifolius</i> (gereiht) 16.03.2012			Zuwachs seit 05.12.2012	Zuwachs [%]
Substrat	C 0/3	18,60	13,10	100,0
	C 2/4	16,40	10,90	83,2
	C 0/12	11,90	6,40	48,9
	B	7,80	2,30	17,6
	C 3/12	6,20	0,70	5,3
	S	6,10	0,60	4,6
	E	2,90	-2,60	-19,8

Tab.42. Oberirdische Masse = Blattmasse frisch (gereiht) von *Cyperus alternifolius* am 16.03.2013.



Tab.43. Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch mit Diagramm von *Cyperus alternifolius* am 16.03.2013.

Wurzelmasse (frisch) [g] von <i>Cyperus alternifolius</i> (gereiht) 16.03.2012			Zuwachs seit 05.12.2012	Zuwachs [%]
Substrat	C 2/4	40,30	37,20	100,0
	C 0/3	27,80	24,70	66,4
	C 3/12	15,20	12,10	32,5
	B	13,00	9,90	26,6
	C 0/12	11,80	8,70	23,4
	S	11,80	8,70	23,4
	E	2,70	-0,40	-1,1

Tab.44. Unterirdische Masse = Wurzelmasse gereiht von *Cyperus alternifolius* am 16.03.2013.

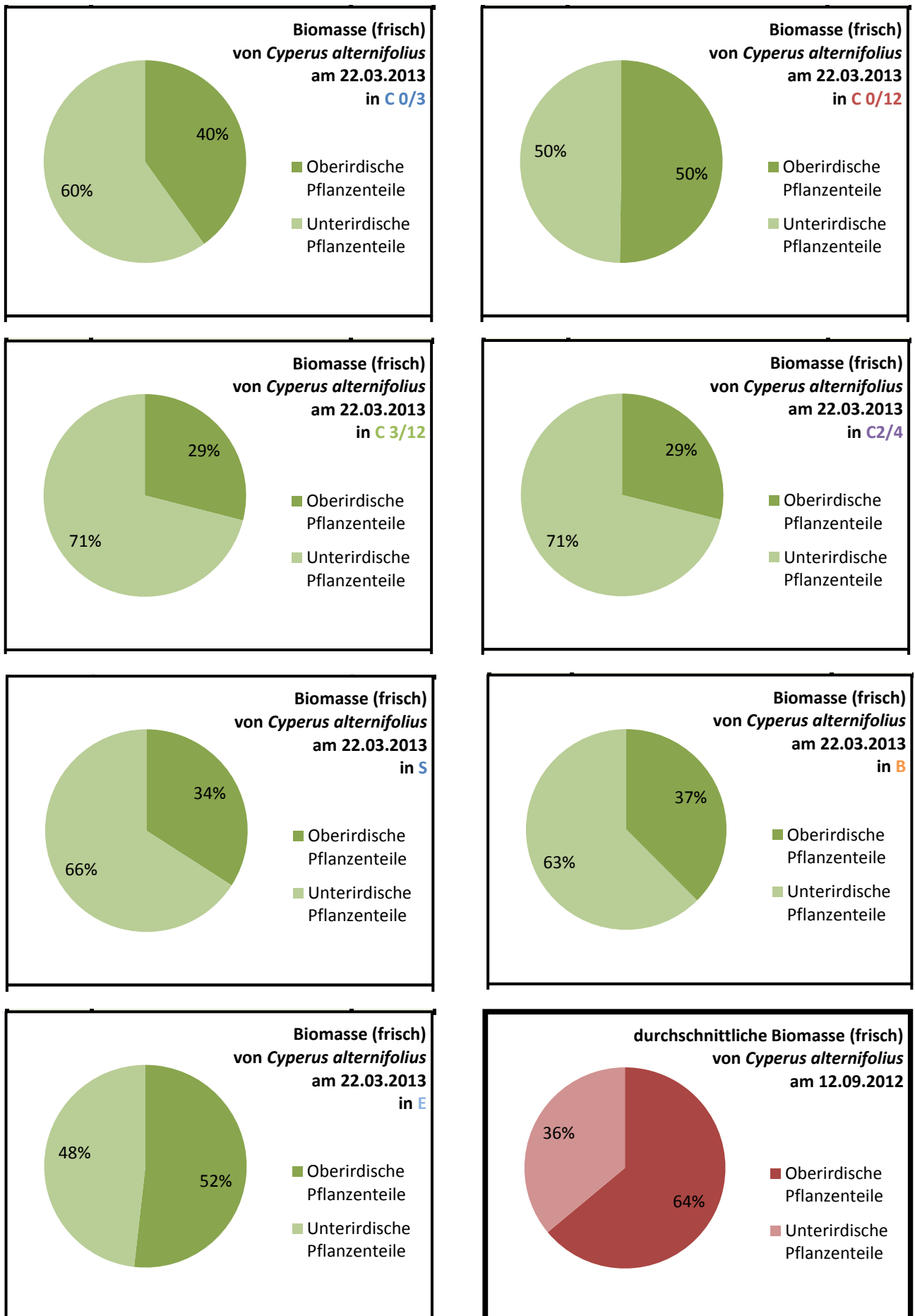


Abb.34. Verhältnis unterirdischer zu oberirdischer Masse bei *Cyperus alternifolius* (in frischem Zustand) in den verschiedenen Substratvarianten bei Versuchsende (grüne Diagramme) im Vergleich zu den Referenzpflanzen bei Versuchsbeginn (rotes Diagramm).

5.6. Fotometrische Ermittlung des Pflanzenvolumens

Zu Versuchsende werden alle Pflanzen fotografiert und mit einer speziellen Software ausgewertet. Mit Hilfe der Bilddaten kann das oberirdische Volumen der Pflanze errechnet werden. Aufgrund der feinen Struktur der Blätter von *Cyperus alternifolius* ist diese Methode für diese Pflanzenart nicht geeignet und kann nur bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* sowie bei *Crassula ovata* angewendet werden.

5.6.1. Methodik der fotometrischen Ermittlung des Pflanzenvolumens

Die Zeigerpflanzen werden am Ende des Versuchszeitraumes vor einem kontrastierenden Hintergrund (weiß bei *Crassula ovata* und schwarz - wegen der weißen Panaschierung der Blätter - bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*) von zwei Seiten (Vorderansicht und Seitenansicht = Seiten a und b) fotografiert. Abbildung 35 und 36 zeigen den Aufbau des Fotostudios. Die aufgenommenen Bilder sowie Screenshots aus dem *Winfolia*-Programm sind in den Abbildungen 37-41 exemplarisch dargestellt.

Mit einer speziell für die Errechnung von Blattflächen konzipierten Software (*Winfolia*) werden die Fotos ausgewertet. Eine entsprechende Größenskalierung erfolgt mittels Referenzquadrat bereits am Foto und wird von der Software erkannt. Aus den Fotos können, die Ansichtsfläche der oberirdischen Pflanzenteile ($F_{\text{grün}}$), sowie Höhe (H) und Breite (B) der Pflanze entnommen werden.

Zur Berechnung des Volumens der oberirdischen Pflanzenteile werden in Folge die gemessene Grünfläche der Ansicht a ($F_{a_{\text{grün}}}$) mit der gemessenen Breite in Ansicht b (Bb) multipliziert und ergeben so das Grünvolumen der Ansicht a ($V_{a_{\text{grün}}}$). Umgekehrt wird mit der Fläche der Ansicht b und der Pflanzenbreite in Ansicht a das Grünvolumen der Ansicht b ($V_{b_{\text{grün}}}$) errechnet. Beide Volumina werden dann mit einem Korrekturfaktor [gemessene Grünfläche ($F_{a_{\text{grün}}}$) dividiert durch errechnete Fläche a mal h ($F_{a_{\text{total}}}$)] berichtigt. Das Mittel der Summe dieser beiden Volumina ergibt das errechnete Pflanzenvolumen.

Die Formel zur Berechnung findet sich auf Seite 63 Messdaten und fotometrische Pflanzenvolumenberechnung können dem Anhang entnommen werden.



Abb.35. Aufbau des Fotostudios.



Abb.36. Der Topf der Pflanze muss völlig verdeckt sein, damit nur die Pflanze auf dem Foto sichtbar ist.

Bilddaten von *Chlorophytum* 'Ocean'



Abb.37. Foto von *Chlorophytum* sp. 'Ocean' vor schwarzem Hintergrund.

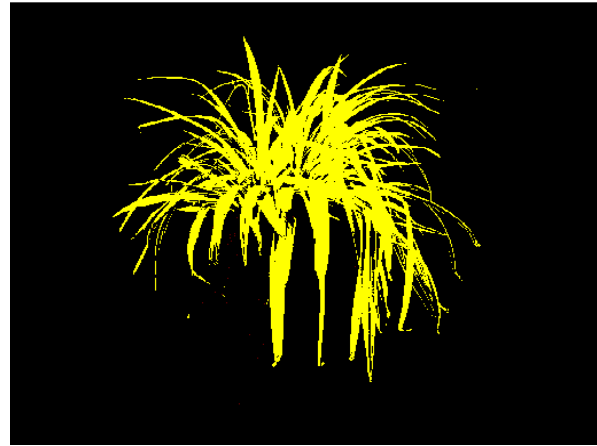


Abb.38. *Chlorophytum* sp. 'Ocean' im Winfolia - Programm dargestellt.

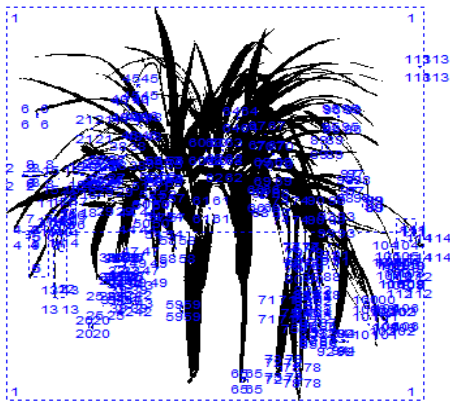


Abb.39. *Chlorophytum* sp. 'Ocean' im Programm analysiert und berechnet.

Bilddaten von *Crassula ovata*



Abb.40. Foto von *Crassula ovata* vor weißem Hintergrund.

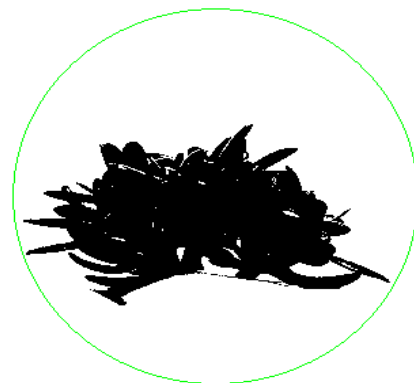


Abb.41. *Crassula ovata* im Programm analysiert und berechnet.

Fotometrische Volumensberechnung (Formel):

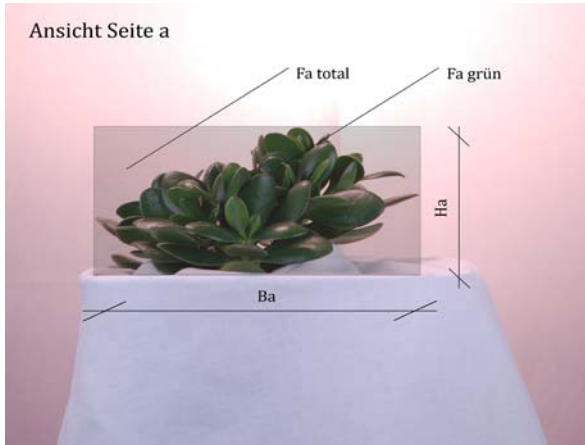


Abb.42. zur Volumensberechnung herangezogene Parameter.

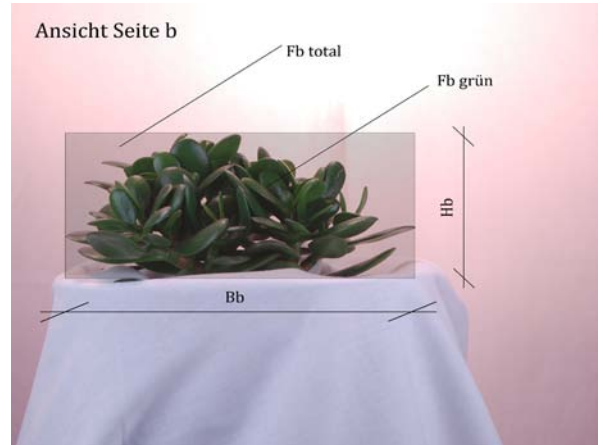


Abb.43. in Ansicht b ist die Pflanze um 90° gedreht.

$Fa_{grün} [cm^2]$... Pflanzenfläche Ansicht a (gemessen mit Winfolia)

$Fb_{grün} [cm^2]$... Pflanzenfläche Ansicht b (gemessen mit Winfolia)

$Ha [cm]$... Höhe der Pflanze in Ansicht a (gemessen mit Winfolia)

$Hb [cm]$... Höhe der Pflanze in Ansicht b (gemessen mit Winfolia)

$Ba [cm]$... Breite der Pflanze in Ansicht a (gemessen mit Winfolia)

$Bb [cm]$... Breite der Pflanze in Ansicht b (gemessen mit Winfolia)

1) $Fa_{total} [cm^2] = Ha \times Ba$ Berechnete Pflanzenfläche in Ansicht a

$Fb_{total} [cm^2] = Hb \times Bb$Berechnete Pflanzenfläche in Ansicht b

2) $Korr a [cm^2] = \frac{Fa_{grün}}{Fa_{total}}$Korrekturfaktor für Ansicht b

$Korr b [cm^2] = \frac{Fb_{grün}}{Fb_{total}}$Korrekturfaktor für Ansicht a

3) $Va [cm^3] = Fa_{grün} \times Bb \times Korr b$ berechnetes Pflanzenvolumen für Ansicht a

$Vb [cm^3] = Fb_{grün} \times Ba \times Korr a$ berechnetes Pflanzenvolumen für Ansicht b

4) $V [cm^3] = \frac{Va + Vb}{2}$ berechnetes Pflanzenvolumen gesamt

5.6.2. Ergebnisse der fotometrischen Ermittlung des Pflanzenvolumens bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Volumen Ø	
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	
Substrat:	[cm ³]
C 0/3	19417,81
C 0/12	28418,90
C 3/12	11944,79
C 2/4	34273,06
S	22244,31
B	34584,28
E	78947,41

Tab.45. Fotometrisch ermitteltes Pflanzenvolumen bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* im Februar 2013.

Volumen Ø (gereiht)		
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>		
Substrat:	[cm ³]	[%]
E	78947,41	100,00
B	34584,28	43,81
C 2/4	34273,06	43,41
C 0/12	28418,90	36,00
S	22244,31	28,18
C 0/3	19417,81	24,60
C 3/12	11944,79	15,13

Tab.46. Fotometrisch ermitteltes Pflanzenvolumen bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* im Februar 2013 (gereiht).

Die fotometrische Ermittlung des Pflanzenvolumens von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* zeigt, dass in der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) die Pflanzen das meiste Volumen gebildet haben. Gleichwertig, mit Zuwächsen von 40 %, sind die Pflanzenvolumina in den Substratvarianten C 2/4 (natürlich gebrannter Ton) und B (Blähton). C 0/12, S, und C 0/3 verzeichnen Volumina von 36 bis 24 %. In C 3/12 beträgt das ausgebildete Pflanzenvolumen nur 15 %.

5.6.3. Ergebnisse der fotometrischen Ermittlung des Pflanzenvolumens bei *Crassula ovata*

Volumen Ø von <i>Crassula ovata</i>	
Substrat:	[cm ³]
C 0/3	2643,16
C 0/12	2563,63
C 3/12	2380,25
C 2/4	3323,76
S	3444,83
B	2811,91
E	2618,36

Tab.47. Fotometrisch ermitteltes Pflanzenvolumen bei *Crassula ovata* im Februar 2013.

Volumen Ø (gereiht) von <i>Crassula ovata</i>		
Substrat:	[cm ³]	[%]
S	3444,83	100,00
C 2/4	3323,76	96,49
B	2811,91	81,63
C 0/3	2643,16	76,73
E	2618,36	76,01
C 0/12	2563,63	74,42
C 3/12	2380,25	69,10

Tab.48. Fotometrisch ermitteltes Pflanzenvolumen bei *Crassula ovata* im Februar 2013 (gereiht).

Die fotometrische Ermittlung des Pflanzenvolumens bei *Crassula ovata* zeigt, dass in S (Blähtongranulat) wie auch in C 2/4 (natürlich gebrannter Ton) das meiste Volumen aufgebaut wurde. In B (Blähtonkugeln) wird ein Pflanzenvolumen von 81 % gemessen. Die übrigen C - Substrate (natürlich gebrannter Ton) wie auch die Substratvariante E (torffreie Blumenerde) erreichten Volumina zwischen 77 und 69 %.

5.7. Überblick über ausgewählte vegetationstechnische Parameter

In Tabelle 49 werden die Parameter Vitalität, Gesamtbiomasse, Blattmasse und das fotometrisch bestimmte Pflanzenvolumen in Form einer Matrix dargestellt.

Substrat	Pflanzenart	Vitalität	Gesamtbiomasse		Blattmasse		Volumen [cm ³]	Volumen [%]	
			Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	Absolut [g]			Zuwachs [g]
C 0/3	<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	3,5	457,70	170,51	32	242,30	69,23	19417,81	24,60
	<i>Crassula ovata</i>	2,5	271,80	44,60	43,5	199,10	38,43	2643,16	76,73
	<i>Cyperus alternifolius</i>	3,1	46,40	37,80	78,6	18,60	13,10		
∅		3,0			51,4				50,7
C 0/12	<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	3,0	532,70	245,51	46,0	278,60	105,53	28418,90	36,00
	<i>Crassula ovata</i>	2,3	270,90	43,70	42,6	202,20	41,53	2563,63	74,42
	<i>Cyperus alternifolius</i>	2,4	23,70	15,10	31,4	11,90	6,40		
∅		2,6			40,0				55,2
C 3/12	<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	2,9	554,10	266,91	50,0	266,60	93,53	11944,79	15,13
	<i>Crassula ovata</i>	2,5	248,60	21,40	20,9	195,55	34,88	2380,25	69,10
	<i>Cyperus alternifolius</i>	2,4	21,40	12,80	26,6	6,20	0,70		
∅		2,6			32,5				42,1
C 2/4	<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	2,5	672,90	385,71	72,3	282,70	109,63	34273,06	43,41
	<i>Crassula ovata</i>	1,9	321,60	94,40	92,0	236,70	76,03	3323,76	96,49
	<i>Cyperus alternifolius</i>	2,6	56,70	48,10	100,0	16,40	10,90		
∅		2,3			88,1				69,9
S	<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	3,1	521,30	234,11	43,9	230,80	57,73	22244,31	28,18
	<i>Crassula ovata</i>	2,6	329,80	102,60	100,0	250,90	90,23	3444,83	100,00
	<i>Cyperus alternifolius</i>	2,7	17,90	9,30	19,3	6,10	0,60		
∅		2,8			54,4				64,1
B	<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	2,7	518,90	231,71	43,4	246,20	73,13	34584,28	43,81
	<i>Crassula ovata</i>	2,3	311,20	84,00	81,9	235,00	74,33	2811,91	81,63
	<i>Cyperus alternifolius</i>	2,8	20,80	12,20	25,4	7,80	2,30		
∅		2,6			50,2				62,7
E	<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	1,5	820,50	533,31	100,0	517,80	344,73	78947,41	100,00
	<i>Crassula ovata</i>	3,0	255,40	28,20	27,5	218,00	57,33	2618,36	76,01
	<i>Cyperus alternifolius</i>	2,8	5,60	-3,00	-6,2	2,90	-2,60		
∅		2,4			40,4				88,0

Tab.49. Überblick über ausgewählte vegetationstechnische Parameter

6. Untersuchung der chemischen und physikalischen Materialeigenschaften

Für Innenraumsubstrate gibt es laut Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenraumbegrünung der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL 2011) gewisse Anforderungen an deren chemische und physikalische Eigenschaften. Es erfolgt eine Auflistung dieser Kriterien, ein Überblick über die Vorgehensweise zu deren Überprüfung und die Ergebnisse der durchgeführten Laboruntersuchungen bezüglich der getesteten Substratvarianten.

6.1. Anforderungen an Innenraumsubstrate

Laut Empfehlungen der FLL- Richtlinien sind für Begrünungen im Innenraum folgende Kriterien bei der Auswahl der Substrate zu berücksichtigen (FLL 2011,S. 27):

- *Abriebfestigkeit;*
- *ausreichende Verfügbarkeit;*
- *Einheitlichkeit in der Qualität;*
- *frei von Schaderregern;*
- *keine Überschreitung des stoffüblichen Salzgehaltes;*
- *keine pflanzen- oder umweltschädigenden Substanzen;*
- *Nährstoffsorptionsfähigkeit;*
- *pH-Wert- und Pufferung;*
- *Struktur- und Sackungsstabilität durch geringe Zersetzung;*
- *Trittfestigkeit bei begehbaren Grünflächen;*
- *Vergießfestigkeit durch hohes Grob- und Mittelporenvolumen;*
- *Vorbeugenden Brandschutz nach DIN 4102 beachten;*
- *Wasserspeicherfähigkeit.*

Die FLL-Richtlinien (2011) unterscheiden bei der Angabe der erforderlichen Werte zwischen rein mineralischen Substraten, mineralisch-organischen Substraten und Substraten für Hydrokultur. Die entsprechenden Grenzwerttabellen sind im Anhang beigelegt.

6.2. Vorgehensweise zur Erfassung der geforderten Kriterien

Um die Substrate auf obenstehende Kriterien zu prüfen, werden folgende Laboruntersuchungen durchgeführt:

- Es wird die Schüttdichte sowie die Wasserkapazität ermittelt.
- Weiters erfolgt eine Erhebung des aktuellen und des potentiellen pH-Wertes der Substrate.
- Laufend findet eine Messung des volumetrischen Wassergehaltes im Substrat statt.
- Eine Auswertung der Nährstoffzusammensetzung und des Salzgehaltes erfolgt in unbepflanztem Zustand, wie auch nach sechsmonatiger Bepflanzung am Ende der Versuchslaufzeit.
- Ebenfalls bei Versuchsende wird die Setzung im bepflanzten Substrat gemessen.

7. Erhobene physikalisch - chemische Parameter und Ergebnisse

Es folgt eine Auflistung der untersuchten Parameter und deren Ergebnisse.

7.1. Setzungsverhalten

Folgende bodenphysikalischen Eigenschaften werden von einem Innenraumbegrünungssubstrat gefordert:

- **Strukturstabilität (Sackungsstabilität):** Das Verhältnis von Grob- und Feinanteilen, sowie dem Porenvolumen muss so beschaffen sein, dass es (durch Setzungen oder Wurzelwachstum) nicht zu einem Verlust der wasser- und luftführenden Poren kommen kann.
- **Vergießfestigkeit:** Die Bestandteile des Substrates müssen so beschaffen sein, dass sie nicht im Laufe der Zeit zersetzen, durch Kaliumausscheidungen "verbacken" oder durch Absplitterungen verschlämmen und so die Sauerstoffzufuhr im Wurzelbereich verhindern.
- **Zersetzungsstabilität:** die Substrate sollen möglichst lang haltbar sein, damit es nicht zu Schrumpfungen kommen kann. Im Innenraum zersetzt sich organische Substanz in etwa ein bis drei Jahren (Kerstjens, 1998).

Eine Beobachtung des Setzungsverhaltens im Substrat erscheint daher sinnvoll.

7.1.1. Methode zur Ermittlung der Setzungstiefe

Die Setzungstiefe wird mit einem Maßstab gemessen. Die Füllhöhe der Töpfe zu Versuchsbeginn (22cm) ist bekannt und wird am Ende des Versuches (20.02.2013) mit einem Maßstab gemessen.

Die Setzungstiefe wurde nur bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* und *Crassula ovata* erhoben, da durch den Austausch von *Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc'* gegen *Cyperus alternifolius* die Substratmenge verändert wurde, und damit keine relevanten Aussagen über das Setzungsverhalten getroffen werden können.

Aufgrund fehlender Richtlinien zum Setzungsverhalten, wird bei diesem Parameter, mangels Vergleichswerten, keine Bewertung durchgeführt.

7.1.2. Ergebnisse zur Setzungstiefe

Setzungstiefe bei <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>				
Substrat	Setzungstiefe [cm]			
				Ø
C0/3	1,8	3,5	4	3,10
C0/12	3	2	3,1	2,70
C3/12	1,5	2	3	2,17
C2/4	2,4	2	1,4	1,93
S	2,5	1,8	2,4	2,23
B	2	1,6	2,6	2,07
E	4,3	3	4,5	3,93

Tab.50. Setzungen (in cm) in den Substratvarianten am 20. 02. 2013 nach einem halben Jahr Versuchslaufzeit bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*.

Setzungstiefe (gereiht)	
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	
Substrat	[cm]
C 2/4	1,93
B	2,07
C 3/12	2,17
S	2,23
C 0/12	2,70
C 0/3	3,10
E	3,93

Tab.51. Setzungen (in cm) in den Substratvarianten am 20. 02. 2013 nach einem halben Jahr Versuchslaufzeit bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* (gereiht).

Setzungstiefe bei <i>Crassula ovata</i>				
Substrat	Setzungstiefe [cm]			Ø
C0/3	1,8	1,5	1,8	1,65
C0/12	1,5	2	2	1,83
C3/12	1,3	0,9	2	1,45
C2/4	1,5	1,7	1	1,35
S	1,8	1,1	1,2	1,15
B	1	1,2	0,8	1,00
E	2,5	3	3	3,00

Tab.52. Setzungen (in cm) in den Substratvarianten am 20. 02. 2013 nach einem halben Jahr Versuchslaufzeit bei *Crassula ovata*.

Setzungstiefe (gereiht)	
<i>Crassula ovata</i>	
Substrat	[cm]
B	1,00
S	1,15
C 2/4	1,35
C 3/12	1,45
C 0/3	1,65
C 0/12	1,83
E	3,00

Tab.53. Setzungen (in cm) in den Substratvarianten am 20. 02. 2013 nach einem halben Jahr Versuchslaufzeit bei *Crassula ovata* (gereiht).

Die geringsten Setzungen werden, wie in den Tabellen 50-53 ersichtlich, bei beiden Zeigerpflanzen in den Substratvarianten B (2,07 und 1 cm), C 2/4 (1,93 und 1,35 cm), S (2,23 und 1,15 cm) und C 3/12 (2,17 und 1,45 cm) festgestellt. Im mittleren Bereich bewegen sich die C-Substrate mit dem Feinkornanteil 0/3 und 0/12. Die größten Setzungen werden in der Substratvariante E (3,93 und 3 cm) beobachtet.

Es kann beobachtet werden, dass die Setzung in Substraten mit hohem Feinkornanteil größer ist als in grobkörnigen Substratvarianten.

7.2. Schüttdichte

Unter Schüttdichte versteht man die Dichte eines körnigen Feststoffes (in loser, unverdichteter Schüttung), angegeben in Masse pro Volumen (www.powtec.de_26. 07. 2013).

7.2.1. Methode zur Ermittlung der Schüttdichte

Die zu untersuchenden Substrate werden in normierten Zylindern mit 1Liter Fassungsvermögen nach 3-tägiger Trocknung bei 105°C mit einer Feinwaage gewogen. Die Berechnung der Schüttdichte erfolgt nach folgender Formel:

$$P_{\text{sch}} = \frac{m_{\text{sch}}}{V_{\text{sch}}}$$

P_{sch} ... Schüttdichte, in kg/m³
 m_{sch} ... Masse (geschüttet), in kg
 V_{sch} ... Volumen (geschüttet), in m³

Die Schüttdichte wird in kg/m³ angegeben.

7.2.2. Ergebnisse zur Schüttdichte

Schüttdichte		
Substrat	Masse [g/l]	kg/m ³
C 0/3	1009,1	1009,1
C 0/12	991,31	991,31
C 3/12	960,82	960,82
C 2/4	963,09	963,09
S	346,21	346,21
B	405,54	405,54
E	223,76	223,76

Tab.54. Schüttdichte in g/l und kg/m³.

Schüttdichte (gereiht)	
Substrat	
C 0/3	1009,1
C 0/12	991,31
C 2/4	963,09
C 3/12	960,82
B	405,54
S	346,21
E	223,76

Tab.55. Schüttdichte in g/l, gereiht.

Für die Schüttdichte gibt es in den einschlägigen Regelwerken keine empfohlenen Grenzwerte. Es wurde keine Bewertung vorgenommen, da es zur Frage, ob hohes Gewicht gut oder schlecht zu bewerten ist, ist durchaus unterschiedliche Meinungen gibt. Einerseits sind bei schwerem Substrat der Transport und die Verarbeitung schwierig, andererseits haben die Pflanzen in schwerem Substrat einen besseren Halt und auch die Pflanztöpfe haben ein größeres Standvermögen.

Wie in Tabelle 54 und 55 ersichtlich wiegen alle C-Substrate (natürlich gebrannter Ton) trocken zwischen 960 und 1000 kg/m³. Die Substratvarianten B (Blähtonkugeln) mit 405,54 kg/m³ und S (Blähtongranulat) mit 346,21 kg/m³ wiegen deutlich weniger. Die leichteste Substratvariante ist E (torffreie Blumenerde) mit 223,76 kg/m³.

7.3. Wasserkapazität

Die Wasserkapazität ist die *“maximale Haftwassermenge, gemessen am natürlich gelagerten Boden mit freiem Wasserabzug in ml H₂O/100 ml Boden, ...”* (BLUM 2012, S.43). Sie ist abhängig von der Körnung, dem Bodengefüge, dem Gehalt an organischer Substanz, der Art der Bodenkolloide sowie der Art der absorbierten Kationen (BLUM, 2012).

7.3.1. Methode zur Ermittlung der Wasserkapazität

Die Prüfung der Wasserkapazität erfolgt in einem modifizierten Verfahren nach ÖNORM B 2606-1 Sportplatzbeläge (ASI 2009). Die Modifizierung erfolgt insofern, als die Substrate nicht, wie in der Norm verlangt, vor der Prüfung verdichtet werden, da dies in einem Pflanzgefäß - im Gegensatz zur Rasentragschicht eines Sportplatzrasens - nicht erwünscht ist. Jede Probe wird in einem normierten Zylinder mit einem Liter Fassungsvermögen vier Stunden überstaut, danach 4 Stunden abgetropft und gewogen. Danach erfolgt eine Trocknung des Substrates im Trockenschrank bei 105° C über drei Tage.

Die Berechnung der Wasserkapazität erfolgt nach folgender Formel und wird in Prozent angegeben:

$$W_k = \frac{(m_w - m_d) \times 100}{V}$$

W_k ... Wasserkapazität in %
 m_d ... Nettomasse der trockenen Probe, in g
 m_w ... Nettomasse der feuchten Probe, in g
 V ... Volumen, in cm³

In den FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung werden für rein mineralische Substrate eine Wasserkapazität von $\geq 20\%$ beziehungsweise $\geq 30\%$ für mineralisch-organische Substrate verlangt. Werte unter 20 % werden als *“gering geeignet”* rot hinterlegt, Werte zwischen 20 und 30% gelb (*“mäßig”*) und Werte über 30 % (*“gut”*) werden grün gekennzeichnet.

7.3.2. Ergebnisse zur Wasserkapazität

Schüttdichte und Wasserkapazität			
Substrat	Masse		Wasserkapazität [%]
	trocken [g/l]	feucht [g/l]	
C 0/3	1009,1	1450,58	44,1
C 0/12	991,31	1234,81	24,4
C 3/12	960,82	1090,21	12,9
C 2/4	963,09	1122,24	15,9
S	346,21	673,76	32,8
B	405,54	521,77	11,6
E	223,76	702,42	47,9

Tab.56. Trocken- und Feuchtgewicht in g sowie Wasserkapazität in %

Wasserkapazität (gereiht)	
Substrat	[%]
E	47,9
C 0/3	44,1
S	32,8
C 0/12	24,4
C 2/4	15,9
C 3/12	12,9
B	11,6

Tab.57. Wasserkapazität in % (gereiht).

Die höchste Wasserkapazität (47,9 %) wird in der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) gemessen. C 0/3 erreicht 44,1 %, S (Blähtongranulat), 32,8 %, diese drei Substratvarianten werden mit *“gut”* bewertet. C 0/12 erreicht einen Wert von 24,4 und wird mit *“mäßig”* beurteilt. Die C-Substratvarianten mit gröberer Körnung (2/4 und 3/12) wie auch Variante B (Blähtonkugeln) können die in den FLL-Richtlinien geforderten Werte für mineralische Substrate nicht erreichen und werden bei diesem Parameter als *“gering geeignet”* bewertet (vgl. Tab. 56 und 57).

7.4. Volumetrischer Wassergehalt

Der volumetrische Wassergehalt gibt das Wasservolumen pro Bodenvolumen, genauer gesagt das „...Gesamtvolumen der flüssigen Phase bezogen auf das Lagerungsvolumen ...“ (www.uni-goettingen.de_26.07.2013), an.

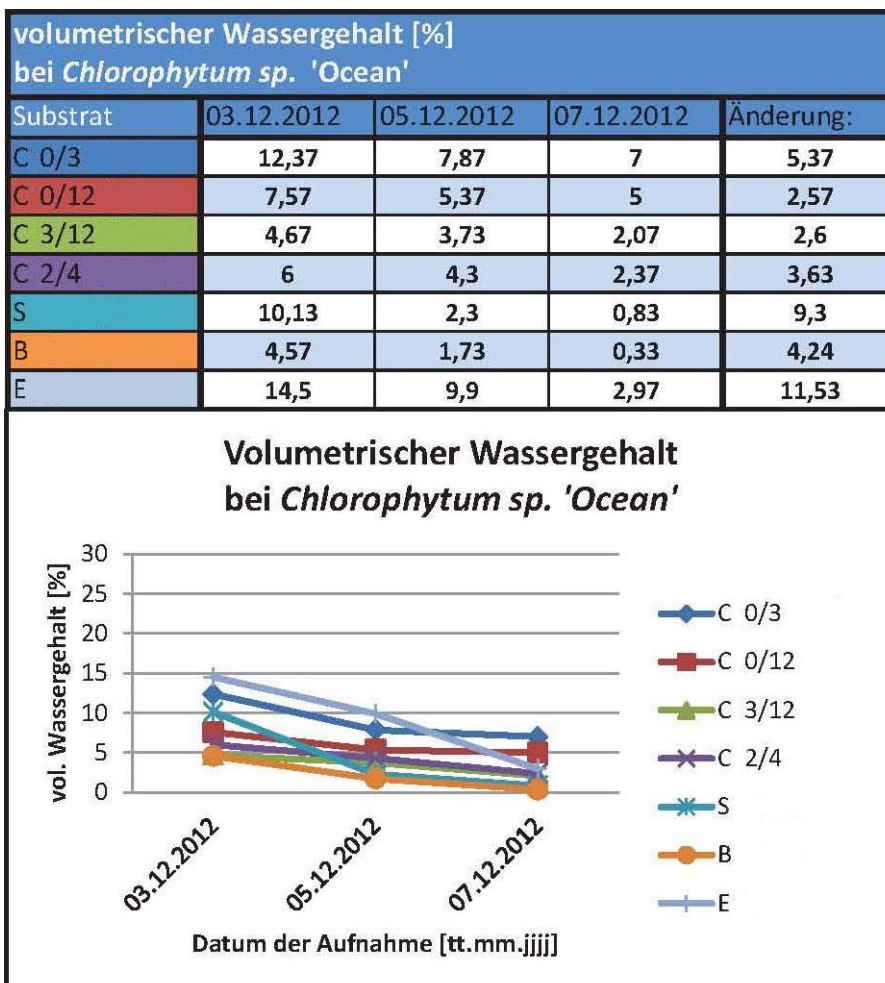
Es lässt allerdings keinen Aufschluss über die Pflanzenverfügbarkeit des gemessenen Wassers zu.

7.4.1. Methode zur Ermittlung des volumetrischen Wassergehaltes

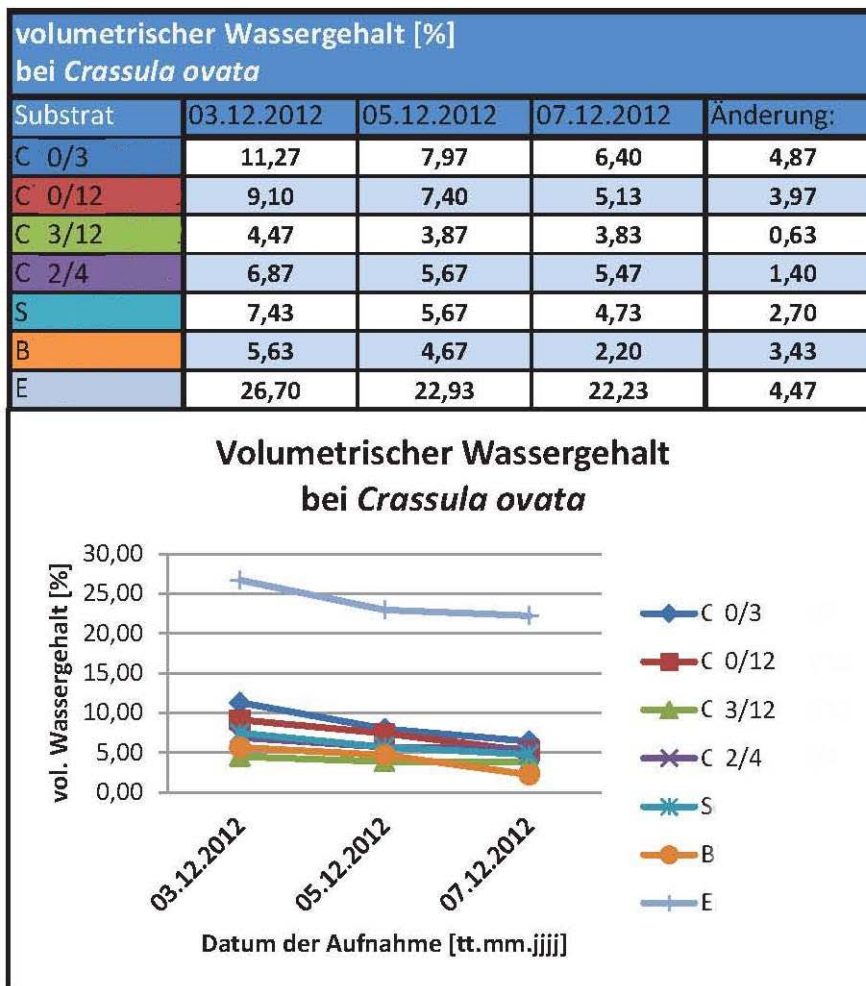
Der volumetrische Wassergehalt wird mit einem Bodenfeuchtesensor gemessen. Der Sensor wird in das Substrat gesteckt und misst anhand der elektrischen Leitfähigkeit den volumetrischen Wassergehalt im Substrat.

Die letzte Bewässerung vor Messbeginn erfolgt am 30. 11. 2012 mit 0,3 Liter Wasser. Gemessen wird nach 3 Tagen (03. 12. 2012), nach 5 Tagen (05. 12. 2012) und nach 7 Tagen (07. 12. 2012), um Daten über die Reduktion des Wassergehaltes zu erhalten. Der volumetrische Wassergehalt wird in Prozent angegeben.

7.4.2. Ergebnisse zum volumetrischen Wassergehalt



Tab.58. Volumetrischer Wassergehalt über den Messzeitraum von fünf Tagen bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*.



Tab.59. Volumetrischer Wassergehalt über den Messzeitraum von fünf Tagen bei *Crassula ovata*.

Bei der Messung des volumetrischen Wassergehaltes im Substrat wird in der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) zu Messbeginn der höchste Wert gemessen (vgl. Tab. 58 und 59). *Chlorophytum sp. 'Ocean'* weist 14,5 % auf; *Crassula ovata* 26,7 %. Dieses Substrat zeigt bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'* auch die höchste Änderung innerhalb von fünf Tagen (11,53 %), was auf eine gute Pflanzenverfügbarkeit des Wassers hinweist. Dies ist besonders bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*, die aufgrund ihrer Größe zum Zeitpunkt der Messung bereits einen hohen Wasserbedarf hatte, zu beobachten.

Bei der trockenheitsliebenden *Crassula ovata* ist zu bemerken, dass in der Substratvariante E wegen des hohen Speichervermögens am Ende des Messzeitraums der mit Abstand höchste Wassergehalt (22,23 %) zu verzeichnen ist (wodurch es in diesem Substrat bei *Crassula ovata* auch zu Fäulnisbildung kommt).

Die zweithöchsten Werte werden in der Substratvariante C 0/3 (natürlich gebrannter Ton) gemessen, die übrigen C Substrate, wie auch S (Blähtongranulat) bewegen sich im mittleren Rahmen, die deutlich niedrigsten Werte können in der Substratvariante B (Blähtonkugeln) gemessen werden.

7.5. pH-Wert

pH ist die Maßzahl für die Wasserstoff-Ionen Konzentration in einer Lösung. Bei 7 wird die Bodenreaktion als neutral bezeichnet, < 7 als sauer und > 7 als alkalisch (basisch) (BLUM, 2012).

Der pH-Wert beeinflusst die Nährstoffversorgung: Bei einem zu hohen pH-Wert (< 6,5) wird die Verfügbarkeit von Eisen und Mangan verringert, bei zu geringem pH-Wert die von Calcium und Magnesium. Düngung beeinflusst den pH-Wert: mit Ammonium-Stickstoff kann der pH-Wert erniedrigt, mit Nitrat-Stickstoff erhöht werden. Eine pH-Pufferung erfolgt meist über Karbonate, Tonminerale, Eisen- und Mangan-Oxide. Je höher die Pufferkapazität im Substrat ist, umso weniger ist das System anfällig für Düngefehler (UPMEIER, 2001).

Aktueller pH-Wert (aktuelle Acidität), gemessen in destilliertem Wasser: Der aktuelle pH-Wert zeigt die gegenwärtige H_3O^+ -Ionenkonzentration im Substrat an. Er ist höher als der potentielle pH-Wert.

Potentieller pH-Wert (potentielle Acidität), gemessen in Calciumchlorid - Lösung: Der potentielle pH-Wert zeigt den Versauerungsgrad im Substrat deutlicher an als der aktuelle Wert, da die Calciumchlorid-Lösung die adhäsiv an Bodenpartikel gebundenen H_3O^+ -Ionen in Lösung bringt (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010).

Wichtig für die Interpretation der möglichen Bodenreaktion ist die Differenz zwischen aktuellem und potentielltem pH-Wert. Dieser zeigt die mögliche Nährstoffversorgung an. Wenn die Differenz zwischen potentielltem und aktuellem pH-Wert unter 0,5 liegt, hängen weniger Kationen am Sorptionskomplex. Dadurch können weniger Nährionen aus dem Substrat in die Nährlösung nachgeliefert werden, und es kommt zu einer schlechten Nährstoffversorgung im

7.5.1. Methode zur Ermittlung des pH-Wertes

Der pH-Wert wird gemäß ÖNORM L1083 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung Acidität (pH-Wert) (ASI, 1999) ermittelt. Die gemahlten Bodenproben werden mit destilliertem Wasser (für die aktuelle Acidität), sowie mit einer 1 Mol Calciumchloridlösung (für die potentielle Acidität) im Verhältnis 1:5 angereichert (s. Abb. 44). Nach 2 Stunden können die Werte mit einer Elektrode gemessen werden. Der pH-Wert wird sowohl im unbepflanzten Substrat, wie auch nach einem halben Jahr Bepflanzung gemessen.



Abb.44. Substratvarianten in Lösung.

In den FLL-Richtlinien finden sich nur Angaben zum potentiellen pH-Wert. Dieser soll in rein mineralischen Substraten zwischen 5,5 und 8,0 liegen, in mineralisch - organischen Substraten zwischen 5,5 und 7,5. Werte, die sich außerhalb dieser Richtwerte befinden, werden bei geringer Abweichung als "mäßig" geeignet gekennzeichnet. Werte die sich stark außerhalb dieser Angaben befinden werden als "gering geeignet" mit rot markiert. Werte innerhalb der Richtlinien werden grün gekennzeichnet.

Bei Beurteilung der Differenz zwischen potentieller und aktueller Acidität wird eine Differenz unter 0,5 grün, 0,5 gelb und Werte über 0,5 rot hinterlegt.

7.5.2. Ergebnisse zum pH-Wert

Aktueller sowie potentieller pH-Wert im unbepflanzten Substrat

pH-Wert im unbepflanzten Substrat							
Substrat	aktuell			potentiell			Differenz
	pH1	pH2	Ø	pH1	pH2	Ø	
C 0/3	8,05	8,05	8,1	7,58	7,60	7,6	0,5
C 0/12	7,64	7,65	7,6	7,50	7,56	7,5	0,1
C 3/12	7,88	7,94	7,9	7,53	7,59	7,6	0,4
C 2/4	7,91	7,90	7,9	7,57	7,57	7,6	0,3
S	7,08	7,08	7,1	6,3	6,40	6,4	0,7
B	8,11	8,04	8,1	7,31	7,45	7,4	0,7
E	5,98	6,02	6,0	5,8	5,75	5,8	0,2

Tab.60. Aktueller und potentieller pH-Wert im unbepflanzten Substrat.

Differenz aktueller - potentieller pH-Wert unbepflanzte, (gereiht)	
C 0/12	0,1
E	0,2
C 2/4	0,3
C 3/12	0,4
C 0/3	0,5
B	0,7
S	0,7

Tab.61. Differenz zwischen aktuellem und potentiellem pH-Wert im unbepflanzten Substrat (gereiht).

Wie in Tabelle 60 ersichtlich bewegt sich in den C Substraten (natürlich gebrannter Ton) der aktuelle pH-Wert nahe bei 8. Der höchste Wert wird mit 8,1 in C 0/3 gemessen. Unter den C-Substraten erreicht die Körnung 0/12 mit 7,6 die niedrigsten Werte. Insgesamt der niedrigste Wert kann in der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) mit 6,0 gemessen werden. Der aktuelle pH-Wert von S (Blähtongranulat) liegt bei 7,1, der von B (Blähtonkugeln) – ähnlich wie bei C – liegt bei 8,1.

Beim potentiellen pH-Wert der mineralischen Substratvarianten liegen alle Ergebnisse innerhalb der in den FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung empfohlenen Werte für mineralische Substrate. Auch die Substratart E liegt mit 5,8 innerhalb der geforderten Werte für mineralisch-organische Substrate.

Der potentielle pH-Wert beträgt in den C - Substraten 7,5-7,6. Ähnliche Werte erreicht B mit 7,4. All diese Substrate befinden sich also, leicht ins basische gehend, knapp über dem neutralen Bereich. Leicht sauer ist der pH-Wert in S (6,4). In der Substratvariante E wird ein pH-Wert von 5,8 festgestellt.

Eine größere Differenz als 0,5 zwischen potentiellem und aktuellem pH-Wert, und damit eine schlechte Nährionennachlieferung, weisen die Substratvarianten S und B auf. C 0/3 liegt mit 0,5 gerade an der Grenze. In den Substratvarianten C 0/12, E, C 2/4 sowie C 3/12 findet eine gute Nachlieferung an Nährionen statt (vgl. Tab. 61).

Aktueller sowie potentieller pH-Wert im bepflanzt Substrat

pH-Wert im bepflanzt Substrat							
Substrat	aktuell			potentiell			Differenz
	pH1	pH2	Ø	pH1	pH2	Ø	
C 0/3	8,03	8,03	8,0	7,77	7,74	7,8	0,3
C 0/12	8,02	7,98	8,0	7,63	7,62	7,6	0,4
C 3/12	7,73	7,72	7,7	7,35	7,53	7,4	0,3
C 2/4	8,00	7,97	8,0	7,74	7,73	7,7	0,2
S	7,19	7,20	7,2	6,53	6,45	6,5	0,7
B	7,89	7,93	7,9	7,29	6,44	6,9	1,0
E	5,52	5,45	5,5	5,49	5,04	5,3	0,2

Tab.62. Aktueller und potentieller pH-Wert im bepflanzt Substrat.

Differenz aktueller - potentieller pH-Wert bepflanzt, (gereiht)	
S	0,2
C 3/12	0,2
C 0/12	0,3
C 2/4	0,3
E	0,4
C 0/3	0,7
B	1,0

Tab.63. Differenz zwischen aktuellem und potentiell pH-Wert im bepflanzt Substrat (gereiht).

Nach sechsmonatiger Bepflanzung liegt, wie in Tab.62 ersichtlich, der aktuelle pH-Wert in den C-Varianten 0/3, 0/12 und 2/4 bei 8. Knapp darunter folgen B mit 7,9 und C 3/12 mit 7,7. Der Wert für S befindet sich bei 7,2. E liegt als einzige Substratart mit 5,5 im leicht sauren Bereich.

Beim potentiellen pH-Wert finden sich bei den mineralischen Substraten alle Ergebnisse innerhalb der in den FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung empfohlenen Werte für mineralische Substrate. Die C - Varianten (natürlich gebrannter Ton) weisen dabei Werte zwischen 7,4 und 7,8 auf. In der Substratvariante B (Blähtonkugeln) werden 6,9 gemessen, in S (Blähtongranulat) 6,5. Die Substratart E (torffreie Blumenerde) liegt mit 5,3 knapp unterhalb der geforderten Werte für mineralisch-organische Substrate und wird somit als mäßig geeignet eingestuft.

Eine größere Differenz zwischen potentiell und aktuellem pH-Wert als 0,5 – und damit eine schlechte Nährionennachlieferung nach sechsmonatiger Bepflanzung – weisen die Substratvarianten B und C 0/3 auf. In den übrigen Substratvarianten liegt die Differenz zwischen 0,2 und 0,4. Diese Varianten können daher als geeignet eingestuft werden (vgl. Tab. 63).

7.6. Nährstoffgehalt: P (Phosphor)

Phosphor ist ein Hauptnährelement. Bei Pflanzen ist dieses Element für den Energietransfer, bei der Synthese von organischen Substanzen und als Zellbaustein wichtig. Phosphor-Mangelscheinungen bewirken Wachstumshemmungen an Spross, Blättern und Wurzeln. Rötliche Verfärbungen an älteren Blättern und z.T. Chlorosen und Nekrosen weisen auf P-Mangel hin (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010).

Pflanzenwurzeln können ausschließlich gelöstes Phosphat aufnehmen. Daher ist es für die P-Versorgung der Pflanzen umso besser, je höher die P-Konzentration in der Bodenlösung ist, je schneller das Phosphat desorbiert wird und je löslicher die festen Phosphate sind (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010).

7.6.1. Methode zur Ermittlung des P-Gehalts

Gemäß ÖNORM L 1087 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von "pflanzenverfügbarem" Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode (ASI, 2006) werden die Substrate unzerkleinert mit einer Calcium-Acetat (Salz der Essigsäure)-Lactat (Salz der Milchsäure)-Lösung versetzt (CAL Auszug). Dies simuliert die Reaktion, mit denen Pflanzenwurzeln Nährstoffe aus dem Boden lösen. Auf diese Art kann der pflanzenverfügbare Phosphorgehalt im Substrat (in mg/kg) angegeben werden.

In der Interpretation der Ergebnisse werden die Richtwerte der Richtlinien für sachgerechte Düngung (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 2006) herangezogen (s. Tab.64). Es gelten die Werte für Ackerland.

In der Beurteilung werden Werte unter 26 mg/kg (sehr niedrig) sowie über 174 mg/kg (sehr hoch) als gering geeignet eingestuft (rot hinterlegt). Werte zwischen 26 und 46 mg/kg (niedrig) sowie zwischen 69 und 174 mg/kg (hoch) werden mit mäßig geeignet beurteilt (gelb hinterlegt). Als geeignet gewertet (grün hinterlegt) wird ein Phosphor-Gehalt zwischen 47 und 111 mg/kg (ausreichend).

	Ackerland	Grünland
Nährstoffversorgung	mg P/1000g	mg P/1000g
sehr niedrig	unter 26	unter 26
niedrig	26 - 46	26 - 46
ausreichend	47 - 111	47 - 68
hoch	112 - 174	69 - 174
sehr hoch	über 174	über 174

Tab.64. Einstufung des Phosphorgehaltes nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (2006).

Zum Vergleich mit den Grenzwerttabellen der FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung können die Angaben des P-Gehaltes mit dem Faktor 2,291 in P_2O_5 umgerechnet werden. Die Einheiten werden mithilfe der Tabelle 54 (Schüttdichte) von mg/kg auf mg/l gebracht. In den FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung wird lediglich eine Obergrenze von bis zu 100 mg/l angegeben. Dies entspringt wahrscheinlich dem Umstand, dass zu üppiges Pflanzenwachstum in der Innenraumbegrünung (im Gegensatz zur Landwirtschaft) nicht gewünscht ist. Das Fehlen einer Angabe zum Mindestphosphorgehalt rührt vermutlich daher, dass in den FLL - Richtlinien für Innenraumbegrünung von regelmäßiger Düngung ausgegangen wird.

Bei der Beurteilung des P_2O_5 - Gehaltes nach FLL - Richtlinien für Innenraumbegrünung werden Werte bis einschließlich 100 mg/l als geeignet gewertet (grün hinterlegt). Werte von 101-150 mg/l als mäßig geeignet (gelb hinterlegt) und darüber als gering geeignet (rot hinterlegt) beurteilt.

7.6.2. Ergebnisse zum P-Gehalt

P-Gehalt		P [mg/kg]		
		unbepflanzt	bepflanzt	Änderung
Substrat	C 0/3	42,36	40,42	-1,94
	C 0/12	13,01	36,97	23,97
	C 3/12	14,80	7,21	-7,59
	C 2/4	20,12	12,05	-8,07
	S	13,94	17,50	3,56
	B	35,60	17,28	-18,32
	E	735,65	81,28	-654,37

Tab.65. P-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.

P-Gehalt unbepflanzt (gereiht)		P-Gehalt bepflanzt (gereiht)		P-Gehalt Änderung (gereiht)	
[mg/kg]		[mg/kg]		[mg/kg]	
Substrat	E	735,65	81,28	E	-654,37
	C 0/3	42,36	40,42	B	-18,32
	B	35,60	36,97	C 2/4	-8,07
	C 2/4	20,12	17,50	C 3/12	-7,59
	C 3/12	14,80	17,28	C 0/3	-1,94
	S	13,94	12,05	S	3,56
	C 0/12	13,01	7,21	C 0/12	23,97

Tab.66. P-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.(gereiht).

Im Vergleich mit den Richtwerten der Richtlinien für sachgerechte Düngung 2006 weist die Substratvariante E (torffreie Blumenerde) vor der Bepflanzung einen sehr hohen Phosphorgehalt auf und wird demnach als "wenig geeignet" beurteilt. Die Substratvarianten C 0/3 (natürlich gebrannter Ton) sowie B werden mit einem niedrigen P-Gehalt als "mäßig" geeignet beschrieben. Ebenfalls mit "wenig geeignet" beurteilt werden mit einem P-Gehalt von unter 21 mg/kg die Substratvarianten C (natürlich gebrannter Ton) 2/4, 3/12 und 0/12 sowie S (Blähtongranulat).

Nach sechsmonatiger Bepflanzung ist der P-Gehalt in E soweit abgesunken, dass er mit 81,28 mg/kg als "gut" beurteilt werden kann. Die Substratvarianten C 0/3 und 0/12 werden mit einem niedrigen P-Gehalt mit "mäßig" bewertet. Eine geringe Phosphor-Versorgung findet in den Substratvarianten S, B, C 2/4 und C 3/12 statt; diese werden mit "gering" beurteilt.

Die Änderung des P-Gehaltes zeigt die tatsächliche Verfügbarkeit von Phosphor für die Pflanze an.

In der Substratvariante E wurde mit 654,37 mg/kg der meiste Phosphor mobilisiert.

In B konnten der Pflanze 18,32 mg/kg zur Verfügung gestellt werden, in den C - Varianten 2/4 und 3/12 8,07 mg/kg beziehungsweise 7,59 mg/kg. In C 0/3 konnten nur mehr 1,04 mg/kg freigesetzt werden. In den Substratvarianten C 0/12 sowie S ist, durch die Mineralisierung abgestorbener Wurzelteile, der P-Gehalt sogar angestiegen.

P-Gehalt		P ₂ O ₅				
		[mg/kg]			[mg/l]	
		unbepflanzt	bepflanzt	Änderung	unbepflanzt	bepflanzt
Substrat	C 0/3	97,05	92,61	-4,44	97,93	224,37
	C 0/12	29,80	84,70	54,91	29,54	67,67
	C 3/12	33,92	16,52	-17,39	32,59	74,66
	C 2/4	46,10	27,60	-18,50	44,40	101,71
	S	31,93	40,08	8,15	11,05	25,32
	B	81,56	39,58	-41,98	33,07	75,77
	E	1685,38	186,21	-1499,17	377,12	863,98

Tab.67. P₂O₅-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.

Wird von den Grenzwerten der FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung ausgegangen, befinden sich in unbepflanztem Zustand alle Substratvarianten außer E und C 0/3 unterhalb des Höchstwertes von 100 mg/l. Die Substratvariante C 2/4 liegt mit 101,71 mg/l knapp über dem Höchstwert und wird deswegen gelb hinterlegt.

Dasselbe gilt für die Ergebnisse der Analyse nach sechsmonatiger Bepflanzung.

7.7. Nährstoffgehalt: K (Kalium)

Kalium ist ein essenzielles Nährelement. In der Pflanze ist Kalium für die Einstellung des osmotischen Drucks und den Wasserhaushalt verantwortlich und aktiviert außerdem verschiedene Enzyme. Weiters erhöht eine gute Kalium-Versorgung die Dürre- und Frostresistenz der Pflanzen. Bei K-Mangel treten Welkeerscheinungen und an den älteren Blättern Chlorosen und später Nekrosen auf (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010).

7.7.1. Methode zur Ermittlung des Kaliumgehalts

Gemäß ÖNORM L 1087 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von "pflanzenverfügbarem" Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode (ASI, 2006) werden die Substrate unzerkleinert mit einer Calcium-Acetat (Salz der Essigsäure)-Lactat (Salz der Milchsäure)-Lösung versetzt (CAL Auszug). Auf diese Art und Weise kann der pflanzenverfügbare Kaliumgehalt im Substrat (in mg/kg) angegeben werden.

In der Interpretation der Ergebnisse werden die Richtwerte der Richtlinien für sachgerechte Düngung (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 2006) herangezogen (s. Tab.68). Es gelten die Werte für leichte Böden.

In der Beurteilung werden Werte unter 50 mg/l (sehr niedrig) sowie über 291 mg/l (sehr hoch) als "gering geeignet" bewertet (rot hinterlegt). Werte zwischen 50 und 87 mg/l (niedrig) sowie zwischen 179 und 291 mg/l (hoch) werden mit "mäßig geeignet" beurteilt (gelb hinterlegt). Als "geeignet" gewertet (grün hinterlegt) wird ein K-Gehalt zwischen 88 und 178 mg/l (ausreichend).

Nährstoffversorgung	Bodenschwere		
	leicht	mittel	schwer
sehr niedrig	unter 50	unter 66	unter 83
niedrig	50 – 87	66 – 112	83 – 137
ausreichend	88 – 178	113 – 212	138 – 245
hoch	179 – 291	213 – 332	246 – 374
sehr hoch	über 291	über 332	über 374

Tab.68. Einstufung des Kaliumgehaltes nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (2006).

Zum Vergleich mit den Grenzwerttabellen der FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung können die Angaben des K - Gehaltes mit dem Faktor 1,205 in K_2O umgerechnet werden. In den FLL-Richtlinien wird lediglich eine Obergrenze von bis zu 400 mg/l angegeben. Die Einheiten werden mithilfe der Tabelle 54 (Schüttdichte) von mg/kg auf mg/l gebracht.

7.7.2. Ergebnisse zum Kaliumgehalt

Kalium-Gehalt		K		
		unbepflanzt	bepflanzt	Änderung
	C 0/3	157,85	122,51	-35,34
	C 0/12	72,59	103,02	30,43
	C 3/12	62,13	60,87	-1,25
	C 2/4	106,61	41,62	-64,99
Substrat	S	353,41	354,83	1,42
	B	68,32	27,39	-40,93
	E	4144,62	530,15	-3614,46

Tab.69. K-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.

K-Gehalt unbepflanzt (gereiht) [mg/kg]			K-Gehalt bepflanzt (gereiht) [mg/kg]			K-Gehalt Änderung (gereiht) [mg/kg]		
Substrat	E	4144,62	E	530,15	E	-3614,46		
	S	353,41	S	354,83	C 2/4	-64,99		
	C 0/3	157,85	C 0/3	122,51	B	-40,93		
	C 2/4	106,61	C 0/12	103,02	C 0/3	-35,34		
	C 0/12	72,59	C 3/12	60,87	C 3/12	-1,25		
	B	68,32	C 2/4	41,62	S	1,42		
	C 3/12	62,13	B	27,39	C 0/12	30,43		

Tab.70. K-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzt Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten (gereiht).

Der mit Abstand höchste Kaliumgehalt (4144,62 mg/kg) wird, bei den unbepflanzten Substraten, in der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) festgestellt. S (Blähtongranulat) weist den zweithöchsten Kaliumgehalt auf. Beide Werte sind nach den Richtlinien für sachgerechte Düngung als sehr hoch einzuordnen und werden demnach rot gekennzeichnet. Ein ausreichender Kaliumgehalt findet sich in unbepflanztem Zustand in den Substratvarianten C (natürlich gebrannter Ton) 0/3 und 2/4 (grün hinterlegt). In den übrigen Substraten wird der Kaliumgehalt als niedrig eingestuft (gelb hinterlegt).

Nach sechsmonatiger Bepflanzung weisen die Substratvarianten E und S noch immer einen sehr hohen Kaliumgehalt auf (rot hinterlegt). In C 0/3 und 0/12 befindet sich der Kaliumgehalt in einem ausreichenden Bereich (grün). In C 3/12 ist der Gehalt an Kalium niedrig und in den Substratvarianten C 2/4 sowie B (Blähtongranulat) sehr gering.

Die höchste Änderungsrate beim Kaliumgehalt nach sechs Monaten wird in der Substratvariante E verzeichnet. Dies lässt auf eine gute Verfügbarkeit der Nährstoffe, aber auch auf einen raschen Abbau schließen, der eine Nachdüngung erforderlich machen wird. S weist den zweithöchsten Kaliumgehalt auf, dieser ändert sich aber auch nach einem halben Jahr Bepflanzung nicht. Das Kalium scheint in dieser Substratvariante so gebunden zu sein, dass es für Pflanzen nicht verfügbar ist.

Die Zunahme an Kalium bei C 0/3 und S lässt sich durch das Absterben von Wurzelteilen erklären, die in mineralisiertem Zustand Nährstoffe abgeben.

Die zweithöchste Änderung findet in der Substratvariante C 2/4 statt. Kalium scheint in dieser Variante gut pflanzenverfügbar zu sein.

Kalium-Gehalt		K ₂ O				
		[mg/kg]		Änderung	[mg/l]	
Substrat		unbepflanzt	bepflanzt			unbepflanzt
	C 0/3	190,21	147,62	-42,59	191,94	28,08
	C 0/12	87,47	124,14	36,67	86,71	10,86
	C 3/12	74,86	73,35	-1,51	71,93	5,49
	C 2/4	128,46	50,15	-78,31	123,72	6,44
	S	425,85	427,57	1,71	147,44	182,08
	B	82,33	33,01	-49,32	33,39	2,72
E	4994,26	638,83	-4355,43	1117,52	3190,50	

Tab.71. K₂O-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzt Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.

Wird nach den Grenzwerten der FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung ausgegangen, befinden sich sowohl in unbepflanztem Zustand, als auch nach sechsmonatiger Bepflanzung alle Substratvarianten außer E unterhalb der Höchstgrenze von 500 mg/l.

7.8. Nährstoffgehalt: Kohlenstoff/Stickstoffverhältnis (C/N-Verhältnis)

Stickstoff ist in der Pflanze *“Bestandteil vieler organischer N-Verbindungen wie z. B. von Aminosäuren, Proteinen, Vitaminen und Chlorophyll”*

(SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010, S. 401).

Stickstoff gehört zu den Hauptnährelementen und ist in natürlichen Systemen meist der limitierende Faktor, was das Pflanzenwachstum betrifft. Erst durch optimierte Stickstoffdüngung konnten die hohen Ertragssteigerungen bei den Kulturpflanzen in den mitteleuropäischen Ländern erreicht werden (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010).

7.8.1. Methode zur Ermittlung des C/N-Verhältnisses

Kohlenstoff und Stickstoff wurden gemäß ÖNORM L 1080 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch trockene Verbrennung (ASI 1999) im gemahlene Substrat gemessen.

Wichtig zur Bemessung des pflanzenverfügbaren Stickstoffes, der meist in leicht löslicher Form (als Nitrat oder Ammonium) im Boden vorkommt, ist vor allem das Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis. Dieses sollte eng beieinander liegen ($>15/1$), damit es zu einer Stickstoffmineralisierung kommen kann (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 2006). In der Bewertung werden alle Substrate, die ein kleineres C/N-Verhältnis als 15/1 aufweisen, grün hinterlegt.

7.8.2. Ergebnisse zum C/N-Verhältnis

C-Gehalt unbepflanzt (gereiht)		[mg/kg]	C-Gehalt bepflanzt (gereiht)		[mg/kg]	C-Gehalt Änderung (gereiht)		[mg/kg]
Substrat	E	32,55	Substrat	C 2/4	0,45	Substrat	C 0/3	-0,09
	C 3/12	0,36		C 3/12	0,31		C 3/12	-0,05
	C 0/3	0,24		S	0,20		B	0,02
	S	0,17		C 0/12	0,18		C 0/12	0,03
	C 0/12	0,15		C 0/3	0,15		S	0,03
	C 2/4	0,12		B	0,12		C 2/4	0,33
	B	0,10		E	ungültig *		E	ungültig *

*zu wenig Material

Tab.72. C-Gehalt im unbepflanzten und bepflannten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten (gereiht).

N-Gehalt unbepflanzt (gereiht) [mg/kg]			N-Gehalt bepflanzt (gereiht) [mg/kg]			N-Gehalt Änderung (gereiht) [mg/kg]		
Substrat	E	1,07	Substrat	C 0/12	0,02	Substrat	C 0/3	-0,01
	C 0/3	0,02		S	0,02		C 3/12	-0,01
	C 0/12	0,02		C 0/3	0,01		C 0/12	0,00
	C 3/12	0,02		C 3/12	0,01		C 2/4	0,00
	S	0,02		C 2/4	0,01		S	0,00
	C 2/4	0,01		B	0,01		B	0,00
	B	0,01		E	ungültig *		E	ungültig *

*zu wenig Material

Tab.73. N-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten (gereiht).

Stickstoff/ Kohlenstoff- Verhältnis	im unbepflanzten Substrat			im bepflanzten Substrat			
	N [mg/kg]	C [mg/kg]	C/N- Verhältnis	N [mg/kg]	C [mg/kg]	C/N- Verhältnis	
Substrat	C 0/3	0,02	0,24	12,00	0,01	0,15	15,00
	C 0/12	0,02	0,15	7,50	0,02	0,18	9,00
	C 3/12	0,02	0,36	18,00	0,01	0,31	31,00
	C 2/4	0,01	0,12	12,00	0,01	0,45	45,00
	S	0,02	0,17	8,50	0,02	0,20	10,00
	B	0,01	0,10	10,00	0,01	0,12	12,00
	E	1,07	32,55	30,42	ungültig *	ungültig *	

*zu wenig Material

Tab.74. C/N-Verhältnis im unbepflanzten und bepflanzten Substrat.

Bei der Analyse der unbepflanzten Substrate (s. Tab. 74) weist die Substratvariante E (torffreie Blumenerde) mit einem C/N-Verhältnis von 30:1 einen viel zu hohen Kohlenstoffanteil auf und muss daher mit "nicht geeignet" bezeichnet werden. Auch C (natürlicher gebrannter Ton) 3/12 liegt mit 18:1 über dem empfohlenen Verhältnis und wird rot hinterlegt.

Nach sechsmonatiger Bepflanzung ist der Kohlenstoffgehalt in dieser Substratvariante sogar noch weiter auf 31 % angestiegen. Auch in der Substratvariante C 2/4 hat sich der Anteil an Kohlenstoff auf 45:1 erhöht, sodass auch diese Substratvariante in diesem Parameter mit "nicht geeignet" beurteilt werden muss.

Die übrigen Substrate täuschen ein gutes C/N Verhältnis vor. Betrachtet man aber die Absolutwerte in den Tabellen 72 und 73, ist in allen Substratvarianten praktisch kein Stickstoff vorhanden. Die Werte befinden sich unter 0,03 mg/kg. In einem normalem Ackerboden finden sich etwa 1,2 %, also etwa das Hundertfache (mündliche Auskunft, Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat. techn. Axel Mentler am 24. 06. 2013). So gesehen, müssen bei diesem Parameter eigentlich alle Substratvarianten mit "nicht geeignet" bewertet werden.

7.9. Salzgehalt

Der Salzgehalt wird anhand der elektrischen Leitfähigkeit im Substrat gemessen. *“Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für die Menge an Salzen, die in der Nährlösung gelöst sind. [...] Bei zu niedrigem Wert kann ein Nährstoffmangel, bei zu hohen Werten Salzstress auftreten.”* (BAUMGARTEN, 2008, S. 43).

Je höher der Salzgehalt, umso geringer ist die Stoffwechselfähigkeit der Pflanzenwurzel. Gehemmtetes Wachstum, gedrungener Wuchs und kleine dunkle Blätter sowie schnellere Blütenbildung sind Symptome für einen zu hohen Salzgehalt (BAUMGARTEN, 2008).

Die Salztoleranz ist von Pflanzenart zu Pflanzenart (je nach ihrer ursprünglichen Herkunft) unterschiedlich. Gräser tolerieren keinen hohen Salzgehalt, während Mangrovenbäume auch im Brackwasser wachsen können. Grundsätzlich sind junge Pflanzenwurzeln empfindlicher als alte (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL, 2010). Bei einem Salzgehalt über 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ können sich daher Schwierigkeiten beim Anwachsen ergeben. Die Leitfähigkeit im gelösten Substrat sollte also 2 mS (=2000 μS) nicht übersteigen (MOLITOR, 1992).

7.9.1. Methode zur Ermittlung des Salzgehalts

Die elektrische Leitfähigkeit eines Substrates wird gemäß ÖNORM L 1092 Chemische Bodenuntersuchungen - Extraktion wasserlöslicher Elemente und Verbindungen (ASI 2005) mit einer Elektrode bestimmt. In der Bewertung werden Substratvarianten mit einer höheren elektrischen Leitfähigkeit als 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ als “gering geeignet” ausgewiesen (rot hinterlegt). Substratvarianten, die sich schon kritisch diesem Wert nähern (>1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$), werden gelb hinterlegt.

7.9.2. Ergebnisse zum Salzgehalt

elektrische Leitfähigkeit		[$\mu\text{S}/\text{cm}$]		
		unbepflanzt	bepflanzt	Änderung
Substrat	C 0/3	2135	2110,0	-25,0
	C 0/12	1494,5	1638,5	144
	C 3/12	1469,5	779,5	-690
	C 2/4	1513,5	948,0	-565,5
	S	24,2	105,4	81,2
	B	198,5	162,0	-36,5
	E	1905,5	841,5	-1064,0

Tab.75. Elektrische Leitfähigkeit in den Substraten vor und nach der Bepflanzung.

elektr. Leitfähigkeit unbepfl.		
(gereiht)		[$\mu\text{S}/\text{cm}$]
Substrat	S	24,2
	B	198,5
	C 3/12	1469,5
	C 0/12	1494,5
	C 2/4	1513,5
	E	1905,5
	C 0/3	2135,0

Tab.76. Elektrische Leitfähigkeit in den Substraten vor der Bepflanzung (gereiht).

elektr. Leitfähigkeit bepflanz		
(gereiht)		[$\mu\text{S}/\text{cm}$]
Substrat	S	105,4
	B	162
	C 3/12	779,5
	E	841,5
	C 2/4	948,0
	C 0/12	1638,5
	C 0/3	2110,0

Tab.77. Elektrische Leitfähigkeit in den Substraten nach der Bepflanzung (gereiht).

elektr. Leitfähigkeit Änderung		
(gereiht)		[$\mu\text{S}/\text{cm}$]
Substrat	E	-1064,0
	C 3/12	-690
	C 2/4	-565,5
	B	-36,5
	C 0/3	-25,0
	S	81,2
	C 0/12	144,0

Tab.78. Änderung der elektrischen Leitfähigkeit in den Substraten vor und nach der Bepflanzung (gereiht).

Im unbepflanzten wie auch bepflanzten Substrat ist der Salzgehalt in der Substratart C 0/3 (natürlich gebrannter Ton) mit einer Leitfähigkeit von 2135 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zu hoch. Auch die Substratvariante E (torffreie Blumenerde) hat mit 1905,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eine sehr hohe Leitfähigkeit, die sich aber nach sechsmonatiger Bepflanzung auf 841,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gesenkt hat. Die übrigen Substratvarianten befinden sich weit unter dem Grenzwert von 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und werden damit als geeignet ausgewiesen.

7.10. Überblick über ausgewählte physikalisch - chemische Parameter

In Tabelle 79 werden die feuchte und trockene Masse der Substratvarianten, ihre Wasserkapazität, der pH-Wert, die Nährstoffgehalte an Phosphor, Kalium, sowie das C/N - Verhältnis und der Salzgehalt in Form einer Matrix dargestellt.

Substrat	Masse		Wasser- kapazität[%]	pH-Wert (unbepflanz)		pH-Wert (bepflanz)		Differenz		Phosphatgehalt [mg/kg]		P ₂ O ₅ [mg/l]	
	trocken [g/l]	feucht [g/l]		aktuell	potentiell	akt./pot. pH	akt./pot. pH	aktuell	potentiell	akt./pot. pH	bepflanz	unbepflanz	bepflanz
C 0/3	1009,1	1450,58	44,1	8,1	7,6	0,5	8,0	7,8	0,3	42,36	40,42	97,93	224,37
∅													
C 0/12	991,31	1234,81	24,4	7,6	7,5	0,1	8,0	7,6	0,4	13,01	36,97	29,54	67,67
∅													
C 3/12	960,82	1090,21	12,9	7,9	7,6	0,4	7,7	7,4	0,3	14,80	7,21	32,59	74,66
∅													
C 2/4	963,09	1122,24	15,9	7,9	7,6	0,3	8,0	7,7	0,2	20,12	12,05	44,40	101,71
∅													
S	346,21	673,76	32,8	7,1	6,4	0,7	7,2	6,5	0,7	13,94	17,50	11,05	25,32
∅													
B	405,54	521,77	11,6	8,1	7,4	0,7	7,9	6,9	1,0	35,60	17,28	33,07	75,77
∅													
E	223,76	702,42	47,9	6,0	5,8	0,2	5,5	5,3	0,2	735,65	81,28	377,12	863,98
∅													

Tab. 79. Überblick über ausgewählte die chemisch - physikalischen Parameter in Form einer Matrix (Teil 1).

Substrat	Kaliumgehalt [mg/kg]		Änderung	K ₂ O [mg/l]		C-Gehalt [mg/l]		N-Gehalt [mg/l]		C/N-Verhältnis		elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]		Änderung
	bepflanz	unbepflanz		bepflanz	unbepflanz	bepflanz	unbepflanz	bepflanz	unbepflanz	bepflanz	unbepflanz	bepflanz	unbepflanz	
C 0/3	157,85	122,51	-35,34	191,94	28,08	0,24	0,15	0,02	0,01	12,00	15,00	2135	2110,0	-25,0
∅														
C 0/12	72,59	103,02	30,43	86,71	10,86	0,15	0,18	0,02	0,02	7,50	9,00	1494,5	1638,5	144
∅														
C 3/12	62,13	60,87	-1,25	71,93	5,49	0,36	0,31	0,02	0,01	18,00	31,00	1469,5	779,5	-690
∅														
C 2/4	106,61	41,62	-64,99	123,72	6,44	0,12	0,45	0,01	0,01	12,00	45,00	1513,5	948,0	-565,5
∅														
S	353,41	354,83	1,42	147,44	182,08	0,17	0,20	0,02	0,02	8,50	10,00	24,2	105,4	81,2
∅														
B	68,32	27,39	-40,93	33,39	2,72	0,10	0,12	0,01	0,01	10,00	12,00	198,5	162,0	-36,5
∅														
E	4144,62	530,15	-3614,46	1117,52	3190,50	32,55	ungültig*	1,07	ungültig*	30,42		1905,5	841,5	-1064,0
∅														

Tab.80. Überblick über ausgewählte die chemisch - physikalischen Parameter in Form einer Matrix (Teil 2).

8. Zusammenfassung der Ergebnisse, Bewertung und Empfehlung

Die vorliegende Untersuchung hat die Eignung von verschiedenen Körnungsvarianten eines natürlichen Hartbrandes (C) als Innenraums substrat ermittelt.

Folgende Substratvarianten wurden untersucht:

- C 0/3
- C 0/12
- C 3/12
- C 2/4

Als Referenzmaterialien dienten zu Vergleichszwecken :

- gebrochener Blähton (S)
- Blähtonkugeln (B)
- torffreie Blumenerde (E)

Es wurde ein Vegetationsmonitoring durchgeführt, in dem die Eignung der Substrate mit Hilfe ausgewählter Indikatorpflanzen beurteilt wurde. Folgende Indikatorpflanzen kamen zur Anwendung:

- *Chlorophytum sp. 'Ocean'*: Allroundpflanze
- *Crassula ovata*: Sukkulente, Trockenheitszeiger
- *Spatiphyllum sp. 'Mont Blanc'*: Feuchtezeiger, wurde wegen Ausfall ersetzt durch:
- *Cyperus alternifolius*: Grasart, Feuchtezeiger

Hierbei wurden folgende Parameter erhoben:

- Vitalität
- Wuchslänge
- Infloreszenz (bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*)
- Druckfestigkeit (bei *Crassula ovata*)
- Biomasse
- Pflanzenvolumen

Zur Absicherung und Ergänzung der Ergebnisse des Vegetationsmonitorings wurden außerdem physikalische und chemische Eigenschaften der Substrate untersucht:

- Setzungsverhalten
- Schüttdichte
- Wasserkapazität
- Volumetrischer Wassergehalt
- pH-Wert
- Kaliumgehalt
- Phosphatgehalt
- C/N Verhältnis
- Salzgehalt

Die Ergebnisse werden in einer Mastermatrix (s. beigelegte Tabelle) zusammengefasst, beschrieben und bewertet, sowie mit einer Empfehlung verknüpft.

8.1. Überblick der Ergebnisse in Form einer Mastermatrix

In Form einer Mastermatrix (Tabelle als Beilage im Buchrücken) werden ausgewählte Parameter des vegetationstechnischen Monitorings sowie der Laboruntersuchungen zusammengefasst.

Folgende Parameter werden dargestellt: Vitalität, Biomasse, fotometrisch berechnetes Pflanzenvolumen, die feuchte und trockene Masse der Substratvarianten, ihre Wasserkapazität, der pH-Wert, die Nährstoffgehalte an Phosphor, Kalium, sowie das C/N - Verhältnis und der Salzgehalt.

8.2. Zusammenfassende Bewertung der untersuchten Substratvarianten

Im Folgenden werden die Substrate anhand der Entwicklung der Pflanzen und der chemisch-physikalischen Eigenschaften beschrieben und bewertet. Hinsichtlich der verschiedenen Körnungsvarianten des natürlichen Hartbrandes C werden Empfehlungen zur Eignung als Innenraumbegrünungssubstrat abgegeben.

8.2.1. Natürlich gebrannter Ton in der Körnung 0/3 (C 0/3)

Pflanzenart	Vitalität	Gesamtbiomasse			Blattmasse			Volumen [cm ³]	Volumen [%]
		Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]		
<i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'	3,5	457,70	170,51	32	242,30	69,23	20,1	19417,81	24,60
<i>Crassula ovata</i>	2,5	271,80	44,60	43,5	199,10	38,43	42,6	2643,16	76,73
<i>Cyperus alternifolius</i>	3,1	46,40	37,80	78,6	18,60	13,10	100,0		
	3,0			51,4			54,2		50,7

Masse		Wasserkapazität [%]	pH-Wert (unbepflanzt)		Differenz akt./pot. pH	pH-Wert (bepflanzt)		Differenz akt./pot. pH
trocken [g/l]	feucht [g/l]		aktuell	potentiell		aktuell	potentiell	
1009,1	1450,58	44,1	8,1	7,6	0,5	8,0	7,8	0,5

Phosphatgehalt [mg/kg]			P ₂ O ₅ [mg/l]		Kaliumgehalt [mg/kg]			K ₂ O [mg/l]	
bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt
42,36	40,42	-1,94	97,93	224,37	157,85	122,51	-35,34	191,94	28,08

C-Gehalt [mg/l]		N-Gehalt [mg/l]		C/N-Verhältnis		elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]		
bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung
0,24	0,15	0,02	0,01	12,00	15,00	2135	2110,0	-25,0

Tab.81. Substratvariante C 0/3, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.

In der Substratvariante C 0/3 zeigten die Pflanzen bei *Chlorophytum sp.* 'Ocean', der Zeigerpflanze für moderate Standorte, die schlechtesten Vitalitätswerte im Vergleich mit den anderen Substratvarianten. Dies spiegelt sich auch bei Betrachtung des Pflanzenwachstums wieder: In C 0/3 wird in frischem Zustand der geringsten Gesamtbiomassezuwachs gemessen, beim Gewicht der Blattmasse und des fotometrisch ermittelten Pflanzenvolumens liegt das Substrat an vorletzter Stelle.

Die Vitalität von *Crassula ovata*, der Zeigerart für trockene Standorte, wurde mit „mäßig“ beurteilt. Die Anfangswerte in dieser Substratvariante sind in der Mitte des Versuchszeitraumes mit Durchschnittsnoten um „2“ durchaus hoch. Bei der Nachbonitur Ende April 2013 wiesen die Pflanzen deutliche Welkerscheinungen auf. Somit ist diese Substratvariante auch für Pflanzen, die trockene Standorte bevorzugen, nicht zu empfehlen.

Auch bei der Zeigerpflanze für feuchte Standorte, *Cyperus alternifolius*, wird die Vitalität der Pflanzen mit „mäßig“ beurteilt. Bei der Messung des Zuwachses der Gesamtbiomasse, sowie der Blattmasse verzeichnete diese Substratvariante die zweitbesten/besten Werte. Da *Cyperus alternifolius* nur vier Monate bis zum Entnahmezeitpunkt in dieser Substratvariante wachsen konnte, sind die Ergebnisse nicht so aussagekräftig wie jene der beiden anderen Indikatorpflanzen. Bei der Nachbonitur am 29. April 2013 sind alle Pflanzen in dieser Substratart bereits sehr verkümmert beziehungsweise im Absterben.

Obwohl das Substrat mit 44,1% eine „gute“ Wasserkapazität aufweist, scheint es als Pflanzsubstrat nicht geeignet zu sein. Der Grund dafür ist die Kornzusammensetzung mit sehr hohen Feinmaterialanteilen. Dadurch entstehen Poren mit sehr geringen Durchmessern, sodass die Pflanze unzureichend mit Luft und Wasser versorgt wird. Bei Entnahme der Pflanzen aus dem Topf wurde festgestellt, dass sich das Substrat über den Versuchszeitraum hinweg zu einer kompakten Masse „verbacken“ hat, wodurch diese These unterstützt wird.

Der aktuelle pH-Wert liegt im bepflanzten, wie im unbepflanzten Zustand bei 8, geht also schon ins leicht Basische. Der potentielle pH-Wert liegt bei 7,6 (unbepflanzte) bis 7,8 (bepflanzte). Die Differenz zwischen aktuellem und potentielltem pH-Wert umfasst im unbepflanzten Zustand 0,5 (0,3 bepflanzte), was auf eine mittelmäßige bis gute Nährionennachlieferung schließen lässt.

Der Phosphorgehalt ist in der Substratvariante C 0/3 sehr niedrig, der Kaliumgehalt hingegen ist hoch. Der Gehalt an Stickstoff ist verschwindend gering.

Die elektrische Leitfähigkeit liegt über 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dieser hohe Salzgehalt kann vor allem bei jungen Pflanzenwurzeln zu Problemen beim Anwachsen führen.

Als Innenraumbegrünungssubstrat wird die Substratvariante natürlich gebrannter Ton in der Körnung 0/3 (C 0/3) daher nicht empfohlen.

8.2.2. Natürlich gebrannter Ton in der Körnung 0/12 (C 0/12)

Pflanzenart	Vitalität	Gesamtbiomasse			Blattmasse			Volumen [cm ³]	Volumen [%]
		Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]		
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	3,0	532,70	245,51	46,0	278,60	105,53	30,6	28418,90	36,00
<i>Crassula ovata</i>	2,3	270,90	43,70	42,6	202,20	41,53	46,0	2563,63	74,42
<i>Cyperus alternifolius</i>	2,4	23,70	15,10	31,4	11,90	6,40	48,9		
	2,6			40,0			41,8		55,2

Masse		Wasserkapazität [%]	pH-Wert (unbepflanzt)			pH-Wert (bepflanzt)		
trocken [g/l]	feucht [g/l]		aktuell	potentiell	Differenz akt./pot. pH	aktuell	potentiell	Differenz akt./pot. pH
991,31	1234,81	24,4	7,6	7,5	0,1	8,0	7,6	0,1

Phosphatgehalt [mg/kg]			P ₂ O ₅ [mg/l]		Kaliumgehalt [mg/kg]			K ₂ O [mg/l]	
bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt
13,01	36,97	23,97	29,54	67,67	72,59	103,02	30,43	86,71	10,86

C-Gehalt [mg/l]		N-Gehalt [mg/l]		C/N-Verhältnis		elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]		
bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung
0,15	0,18	0,02	0,02	7,50	9,00	1494,5	1638,5	144

Tab.82. Substratvariante C 0/12, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.

Ähnlich kann die Beurteilung der Substratvariante C 0/12 erfolgen. Die Vitalität der Zeigerpflanzen für moderate Standorte, *Chlorophytum sp. Ocean*, war „mäßig“, ebenso ihr Biomassezuwachs. Dieses Ergebnis wird vom fotometrisch ermittelten Pflanzenvolumen bestätigt. Die Ausbildung von Kindeln liegt knapp unter 50% und wird mit „mäßig“ beurteilt.

Die Vitalität von *Crassula ovata* (Zeiger für trockene Standorte) kann im Versuchszeitraum (von 26.09.2012 bis 13.02.2012) noch mit „gut“ bewertet werden. Am 29.04.2013 ist sie bereits mit „gering“ eingestuft. Die Bildung der Biomasse kann ebenfalls nur als „gering“ angesehen werden. Auch beim fotometrisch berechneten Pflanzenvolumen erreichten die Pflanzen in dieser Substratvariante nur den vorletzten Platz.

Bei der Beurteilung der Vitalität von *Cyperus alternifolius*, der Zeigerpflanze für feuchte Standorte erreichten die Pflanzen in der Substratvariante 3/12 die besten Werte. Bei der Gesamtbiomasse, wie auch bei der Blattmasse werden „mäßige“ Zuwächse verzeichnet.

Die Schüttdichte in C 0/12 beträgt 991,31 kg/m³, die Wasserkapazität liegt bei 24,4%. Insgesamt sind die Werte in der Substratvariante C 0/12 aufgrund der breiteren Korngrößenverteilung – und damit günstigeren Verteilung der Porenvolumina – etwas besser als in C 0/3. Die negativen Auswirkungen des Schlämmkornanteils, die bereits für die Substratvariante C 0/3 aufgezeigt wurden, sind auch in dieser Substratvariante zwar abgeschwächt, aber dennoch signifikant vorzufinden.

Der pH-Wert im unbepflanzten Substrat beträgt aktuell 7,5 und potentiell 7,5, was auf eine gute Nachlieferung von Nährionen hinweist. Auch im bepflanzten Substrat ist die Nährionennachlieferung gut.

C 0/12 weist unbepflanzt mit 13,01 mg/kg einen sehr geringen Phosphorgehalt auf. Nach sechsmonatiger Bepflanzung ist dieser Wert auf 36,97 angestiegen. Dies ist auf das Absterben von Pflanzenwurzeln und deren Mineralisierung zurückzuführen.

Der Kaliumgehalt ist im unbepflanzten Substrat niedrig, nach sechsmonatiger Versuchsdauer ist er durch oben genannte Gründe auf ein ausreichendes Niveau angestiegen. Stickstoff ist in C 0/12 nur in sehr geringen Mengen vorzufinden.

Die elektrische Leitfähigkeit ist eher hoch, aber noch nicht für junge Pflanzenwurzeln schädlich, jedoch während der Versuchslaufzeit durch die Agglomeration von Nährionen angestiegen.

Zusammenfassend bewertet kann daher natürlich gebrannter Ton in der Korngrößenzusammensetzung 0/12 (C 0/12) ebenfalls nicht für die Innenraumbegrünung empfohlen werden.

8.2.3. Natürlich gebrannter Ton in der Körnung 3/12 (C 3/12)

Pflanzenart	Vitalität	Gesamtbiomasse			Blattmasse			Volumen [cm ³]	Volumen [%]
		Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]		
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	2,9	554,10	266,91	50,0	266,60	93,53	27,1	11944,79	15,13
<i>Crassula ovata</i>	2,5	248,60	21,40	20,9	195,55	34,88	38,7	2380,25	69,10
<i>Cyperus alternifolius</i>	2,4	21,40	12,80	26,6	6,20	0,70	5,3		
	2,6			32,5			23,7		42,1

Masse		Wasserkapazität [%]	pH-Wert (unbepflanzt)		Differenz akt./pot. pH	pH-Wert (bepflanzt)		Differenz akt./pot. pH
trocken [g/l]	feucht [g/l]		aktuell	potentiell		aktuell	potentiell	
960,82	1090,21	12,9	7,9	7,6	0,4	7,7	7,4	0,4

Phosphatgehalt [mg/kg]			P ₂ O ₅ [mg/l]		Kaliumgehalt [mg/kg]			K ₂ O [mg/l]	
bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt
14,80	7,21	-7,59	32,59	74,66	62,13	60,87	-1,25	71,93	5,49

C-Gehalt [mg/l]		N-Gehalt [mg/l]		C/N-Verhältnis		elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]		
bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung
0,36	0,31	0,02	0,01	18,00	31,00	1469,5	779,5	-690

Tab.83. Substratvariante C 3/12, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.

Die Vitalität von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*, als Zeigerpflanze für moderate Standorte wird in der Substratvariante C 3/12 mit „mäßig“ beurteilt. Die Beurteilung des Zuwachses der Gesamtbiomasse kann durch den Zuwachs von 50% als gut beurteilt werden. Der Zuwachs bei der Blattmasse war jedoch „mäßig“ und bei der Berechnung des Pflanzenvolumens belegte C 3/12 den letzten Platz unter den getesteten Substratvarianten. Die Masse der Kindeln wird mit „mäßig“ beurteilt.

Bei der Zeigerpflanze für trockene Standorte, *Crassula ovata*, wird die Vitalität mit „mäßig“ bewertet. Der Zuwachs der Gesamtbiomasse, wie auch der Blattmasse, war im Vergleich mit den anderen getesteten Substratvarianten am geringsten. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen der fotometrischen Pflanzenvolumenermittlung.

Die Vitalität der Zeigerpflanze für feuchte Standorte, *Cyperus alternifolius*, wird während des Versuchszeitraumes mit „gut“ bewertet. Bei der Beurteilung der Gesamtbiomasse, wie auch der Blattmasse liegt der Zuwachs der Pflanzen in der Substratvariante 3/12 im Mittelfeld.

Die Schüttdichte von C 3/12 beträgt 960,82 kg/m³, die Wasserkapazität liegt mit 12,9 % unter den in den FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung empfohlenen 20 %.

Im unbepflanzten Substrat beträgt der aktuelle pH-Wert 7,9, der potentielle 7,6. Damit ist die Nachlieferung von Nährionen in einem ausreichendem Bereich. Auch nach sechsmonatiger Bepflanzung hat sich der pH-Wert nicht wesentlich verändert (7,7/7,4).

Der Phosphatgehalt ist in dieser Substratvariante mit 14,8 mg/kg sehr niedrig, nach sechsmonatiger Bepflanzung sogar nur mehr halb so hoch. Auch der Kaliumgehalt ist niedrig. Stickstoff ist, wie in allen getesteten mineralischen Substraten, kaum enthalten. Der Salzgehalt im Substrat liegt unter den kritischen 2000 µS/cm.

Die Substratvariante natürlich gebrannter Ton in der Körnung 3/12(C 3/12) kann daher nur bedingt empfohlen werden.

8.2.4. Natürlich gebrannter Ton in der Körnung 2/4 (C 2/4)

Pflanzenart	Vitalität	Gesamtbiomasse			Blattmasse			Volumen [cm ³]	Volumen [%]
		Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]		
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	2,5	672,90	385,71	72,3	282,70	109,63	31,8	34273,06	43,41
<i>Crassula ovata</i>	1,9	321,60	94,40	92,0	236,70	76,03	84,3	3323,76	96,49
<i>Cyperus alternifolius</i>	2,6	56,70	48,10	100,0	16,40	10,90	83,2		
	2,3			88,1			66,4		69,9

Masse		Wasserkapazität [%]	pH-Wert (unbepflanzt)		Differenz akt./pot. pH	pH-Wert (bepflanzt)		Differenz akt./pot. pH
trocken [g/l]	feucht [g/l]		aktuell	potentiell		aktuell	potentiell	
963,09	1122,24	15,9	7,9	7,6	0,3	8,0	7,7	0,3

Phosphatgehalt [mg/kg]			P ₂ O ₅ [mg/l]		Kaliumgehalt [mg/kg]			K ₂ O [mg/l]	
bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt
20,12	12,05	-8,07	44,40	101,71	106,61	41,62	-64,99	123,72	6,44

C-Gehalt [mg/l]		N-Gehalt [mg/l]		C/N-Verhältnis		elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]		
bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung
0,12	0,45	0,01	0,01	12,00	45,00	1513,5	948,0	-565,5

Tab.84. Substratvariante C 2/4, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.

In der Substratvariante C 2/4 kann bei der Beurteilung der Vitalität von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* (der Zeigerpflanze für moderate Standorte) die Durchschnittsnote „2,5“ vergeben werden. Sie verfehlt daher nur um eine Kommastelle die Beurteilung „gut“. Unter allen rein mineralischen Substratvarianten erhält C 2/4 die beste Beurteilung. Dies spiegelt sich auch bei der Beurteilung sowohl der Gesamtbiomasse, als auch der Blattmasse wieder, in der C 2/4 stets den zweiten Platz belegt. Auch beim fotometrisch berechneten Pflanzenvolumen liegt die Substratvariante C 2/4 (gemeinsam mit B) an zweiter Stelle. Die Ausbildung von Kindeln wird mit „gut“ beurteilt. Für Pflanzen mit moderaten Standortansprüchen zeigt sich diese Substratvariante also geeignet.

Bei der Vitalitätsbestimmung von *Crassula ovata* (Zeigerpflanze für trockene Standorte), belegt die Substratvariante C 2/4 den zweiten Platz. Auch bei der Beurteilung der Gesamtbiomasse, wie auch der Blattmasse liegt diese Substratvariante an zweiter Stelle. Dasselbe geht aus der Auswertung der fotometrischen Pflanzenvolumenberechnung hervor. Die Substratvariante C 2/4 scheint also auch geeignet für Pflanzen, die trockene Standorte bevorzugen.

Die Vitalität von *Cyperus alternifolius* wird mit einer Durchschnittsnote von „2,6“ mit „mäßig“ beurteilt. Allerdings ist hier eine steigende Tendenz zu bemerken. Beim Zuwachs der Gesamtbiomasse liegt *Cyperus alternifolius*, verglichen mit den anderen Substratvarianten an erster Stelle, beim Zuwachs der Gesamtbiomasse an zweiter. Die Substratvariante C 2/4 ist also (trotz ihrer verhältnismäßig geringen Wasserkapazität von 15,9%) auch geeignet für Pflanzen, die einen hohen Wasserbedarf haben. Die Schüttdichte von C 2/4 beträgt 963,09 kg/m³.

Der aktuelle pH- Wert liegt bei 7,9, der potentielle bei 7,6 (Differenz von 0,3). Die Nachlieferung von Nährionen ist also gut. Nach sechsmonatiger Bepflanzung beträgt die Differenz sogar nur mehr 0,2.

Der Phosphatgehalt ist im bepflanzten wie im unbepflanzten Substrat niedrig. Der Kaliumgehalt ist im unbepflanzten Substrat ausreichend, die Verfügbarkeit des Nährstoffes im Substrat aber so gut, dass nach sechsmonatiger Bepflanzung nur mehr ein niedriger Kaliumgehalt gemessen wird. Stickstoff kommt in der Substratvariante C 2/4 nur in sehr geringen Mengen vor.

Der Salzgehalt im Substrat ist hoch, aber nicht über 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Die gemittelte Vitalität – als wichtigster Parameter – aller Arten ist bei C 2/4 mit einem Wert von 2,3 die Beste. Ebenso zeigten die Arten insgesamt den relativ höchsten Gesamtbiomassezuwachs. Nur das Erdsubstrat erreicht für bestimmte Parameter bessere Ergebnisse. Unter den untersuchten mineralischen Substraten ist C 2/4 das deutlich am besten geeignete Substrat. Um längeres vitales Pflanzenwachstum sicherstellen zu können, sollte diese Substratvariante mit zusätzlichem Dünger versehen werden.

Die Substratvariante natürlich gebrannter Ton in der Körnung 2/4 (C 2/4) ist für die Verwendung als Pflanzsubstrat zur Begrünung von Innenräumen bestens zu empfehlen.

8.2.5. Blähtongranulat (S)

Pflanzenart	Vitalität	Gesamtbiomasse			Blattmasse			Volumen [cm³]	Volumen [%]
		Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]		
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	3,1	521,30	234,11	43,9	230,80	57,73	16,7	22244,31	28,18
<i>Crassula ovata</i>	2,6	329,80	102,60	100,0	250,90	90,23	100,0	3444,83	100,00
<i>Cyperus alternifolius</i>	2,7	17,90	9,30	19,3	6,10	0,60	4,6		
	2,8			54,4			40,4		64,1

Masse		Wasserkapazität [%]	pH-Wert (unbepflanzt)		Differenz akt./pot. pH	pH-Wert (bepflanzt)		Differenz akt./pot. pH
trocken [g/l]	feucht [g/l]		aktuell	potentiell		aktuell	potentiell	
346,21	673,76	32,8	7,1	6,4	0,7	7,2	6,5	0,7

Phosphatgehalt [mg/kg]			P ₂ O ₅ [mg/l]		Kaliumgehalt [mg/kg]			K ₂ O [mg/l]	
bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt
13,94	17,50	3,56	11,05	25,32	353,41	354,83	1,42	147,44	182,08

C-Gehalt [mg/l]		N-Gehalt [mg/l]		C/N-Verhältnis		elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]		
bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung
0,17	0,20	0,02	0,02	8,50	10,00	24,2	105,4	81,2

Tab.85. Substratvariante S, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.

Im Referenzsubstrat S wird die Vitalität der Zeigerpflanze für moderate Standorte (*Chlorophytum sp. 'Ocean'*) mit „mäßig“ beurteilt. Der Zuwachs der Gesamtbiomasse liegt bei 43% und wird ebenfalls mit „mäßig“ beurteilt. Der Zuwachs der Blattmasse liegt beim Vergleich der unterschiedlichen Substratvarianten mit 16% an letzter Stelle. Auch bei der Masse der Kindeln ist S die letztgereichte Substratvariante. Man kann aus diesem Verhalten der nährstoffhungrigen Pflanze *Chlorophytum sp. 'Ocean'* ableiten, dass in der Substratvariante S (Blähtongranulat) so gut wie keine (pflanzenverfügbaren) Nährstoffe enthalten sind, und dieses Substrat daher ohne regelmäßige Düngung (der Hersteller empfiehlt Düngung bei jedem Gießgang!) als Pflanzsubstrat bedingt geeignet ist.

Die Vitalität von *Crassula ovata* (der Zeigerpflanze für trockene Standorte) wird in der Substratvariante S mit „mäßig“ beurteilt. Bei der Beurteilung des Zuwachses der Gesamtbiomasse, wie auch der Blattmasse, liegt S an erster Stelle. Dies geht auch aus der fotometrischen Berechnung des Pflanzenvolumens hervor. *Crassula ovata* bevorzugt nicht nur trockene Standorte, sondern beansprucht auch äußerst wenig Nährstoffe. Dadurch ist das Substrat S für Pflanzen mit diesen Standortansprüchen auch ohne zusätzliche Düngung über längeren Zeitraum geeignet.

Bei *Cyperus alternifolius*, der Zeigerpflanze für feuchte Standorte, wird die Vitalität in der Substratvariante S mit „mäßig“ beurteilt. Beim Zuwachs der Gesamtbiomasse, wie auch dem der Blattmasse, steht diese Substratvariante an vorletzter Stelle und wurde mit „mäßig“ beziehungsweise „gering geeignet“ bewertet. Für Pflanzen, die feuchte Standorte bevorzugen, ist diese Substratvariante S also, obwohl sie bei der Beurteilung der Wasserkapazität nach der Substratvariante E (torffreie Blumenerde) an zweiter Stelle steht, weniger zu empfehlen.

S ist mit einer Schüttdichte von 342,21 kg/m³ ein sehr leichtes Substrat mit einem hohen Wasserspeichervermögen von 32,8%.

Die Differenz von aktuellem (7,1) zu potentiell (6,4) pH-Wert beträgt im unbepflanzten Substrat 0,7, was auf eine schlechte Nachlieferung an Nährionen hindeutet. Dies ändert sich auch nach sechsmonatiger Bepflanzung nicht.

Der Phosphatgehalt ist in S sehr niedrig, der Kaliumgehalt ist mit 253,41 mg/kg sogar sehr hoch. Beide Nährstoffe wurden aber während der Versuchslaufzeit von sechs Monaten nicht verbraucht. Die Nährstoffe sind im Substrat also so gebunden, dass sie für die Pflanzen nicht verfügbar sind (wie schon anhand der hohen Differenz von aktuellem zu potentiell ph-Wert vermutet). Der Gehalt an Stickstoff ist verschwindend gering.

Die elektrische Leitfähigkeit ist innerhalb aller getesteten Substratvarianten der geringste.

Als Vergleichssubstrat erreicht das Blähtongranulat (S) ohne zusätzliche Düngung keinesfalls die Werte des natürlich gebrannten Tons in der Korngröße 2/4 (C2/4).

8.2.6. Blähtonkugeln (B)

Pflanzenart	Vitalität	Gesamtbiomasse			Blattmasse			Volumen [cm ³]	Volumen [%]
		Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]		
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	2,7	518,90	231,71	43,4	246,20	73,13	21,2	34584,28	43,81
<i>Crassula ovata</i>	2,3	311,20	84,00	81,9	235,00	74,33	82,4	2811,91	81,63
<i>Cyperus alternifolius</i>	2,8	20,80	12,20	25,4	7,80	2,30	17,6		
	2,6			50,2			40,4		62,7

Masse		Wasserkapazität [%]	pH-Wert (unbepflanzt)		Differenz akt./pot. pH	pH-Wert (bepflanzt)		Differenz akt./pot. pH
trocken [g/l]	feucht [g/l]		aktuell	potentiell		aktuell	potentiell	
405,54	521,77	11,6	8,1	7,4	0,7	7,9	6,9	0,7

Phosphatgehalt [mg/kg]			P ₂ O ₅ [mg/l]		Kaliumgehalt [mg/kg]			K ₂ O [mg/l]	
bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt
35,60	17,28	-18,32	33,07	75,77	68,32	27,39	-40,93	33,39	2,72

C-Gehalt [mg/l]		N-Gehalt [mg/l]		C/N-Verhältnis		elektrische Leitfähigkeit [μS/cm]		
bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung
0,10	0,12	0,01	0,01	10,00	12,00	198,5	162,0	-36,5

Tab.86. Substratvariante B, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.

Ähnlich wie bei der Substratvariante S ist die Pflanzentwicklung in der Referenzvariante B zu sehen. Die Vitalität in dieser Substratvariante ist bei *Chlorophytum sp. 'Ocean'*, der Zeigerpflanze für moderate Standorte „mäßig“. Der Zuwachs der Biomasse der Pflanzen ist in der Substratvariante, wie der Zuwachs der Blattmasse, ähnlich wie in S „mäßig“. Bei der fotometrischen Berechnung des Pflanzenvolumens erreicht B allerdings den zweiten Platz. Die Vitalität der Zeigerpflanze für trockene Standorte, *Crassula ovata*, ist als „mäßig“ zu beurteilen. Der Zuwachs der Gesamtbiomasse sowie der Blattmasse der Pflanzen in der Substratvariante B ist ähnlich dem Zuwachs in der Substratart C 2/4. In der Beurteilung liegt B hinter C 2/4 auf Platz drei. Dasselbe Ergebnis liefert die fotometrische Berechnung des Pflanzenvolumens. B wird daher für Pflanzen, die trockene Standorte bevorzugen, als geeignet betrachtet.

Die Vitalität von *Cyperus alternifolius*, der Zeigerpflanze für feuchte Standorte, wird mit „mäßig“ bewertet. Der Zuwachs der Gesamtbiomasse, wie auch der Blattmasse ist etwas höher als bei S und wird mit „mäßig“ beurteilt. Insgesamt erscheint die Substratvariante B für Pflanzen mit einem hohen Wasserbedarf „mäßig“ geeignet.

B ist mit einer Schüttdichte von 405,54 kg/m³ ein sehr leichtes Substrat. Die Wasserkapazität beträgt 11,6%.

Der pH-Wert im unbepflanzten Substrat liegt aktuell mit 8,1 im leicht basischen Bereich. Der potentielle pH-Wert beträgt 7,4. Die große Differenz deutet auf eine schlechte Nachlieferung von Nährionen hin. Nach sechsmonatiger Bepflanzung hat sich die Differenz zwischen potentiell und aktuellem pH-Wert sogar auf 1,0 erhöht.

B weist unbepflanzt einen niedrigen Phosphat-Gehalt auf, auch nach sechsmonatiger Bepflanzung ist der P-Gehalt sehr niedrig. Auch der Kaliumgehalt senkt sich während der Versuchslaufzeit von niedrig auf sehr niedrig. Stickstoff ist in B kaum vorzufinden. Der Salzgehalt in der Substratvariante B ist niedrig.

Auch die Substratvariante B (Blähtonkugeln) erreicht ohne zusätzliche Düngung nicht die guten Werte des natürlich gebrannten Tons in der Korngröße 2/4.

8.2.7. Torffreie Blumenerde (E)

Pflanzenart	Vitalität	Gesamtbiomasse			Blattmasse			Volumen [cm³]
		Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	Absolut [g]	Zuwachs [g]	Zuwachs [%]	
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	1,5	820,50	533,31	100,0	517,80	344,73	100,0	78947,41
<i>Crassula ovata</i>	3,0	255,40	28,20	27,5	218,00	57,33	63,5	2618,36
<i>Cyperus alternifolius</i>	2,8	5,60	-3,00	-6,2	2,90	-2,60	-19,8	
	2,4			40,4			47,9	

Masse		Wasserkapazität [%]	pH-Wert (unbepflanzt)		Differenz akt./pot. pH	pH-Wert (bepflanzt)		Differenz akt./pot. pH
trocken [g/l]	feucht [g/l]		aktuell	potentiell		aktuell	potentiell	
223,76	702,42	47,9	6,0	5,8	0,2	5,5	5,3	0,2

Phosphatgehalt [mg/kg]			P ₂ O ₅ [mg/l]		Kaliumgehalt [mg/kg]			K ₂ O [mg/l]	
bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung	bepflanzt	unbepflanzt
735,65	81,28	-654,37	377,12	863,98	4144,62	530,15	-3614,46	1117,52	3190,50

C-Gehalt [mg/l]		N-Gehalt [mg/l]		C/N-Verhältnis		elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]		
bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	bepflanzt	unbepflanzt	Änderung
32,55	ungültig *	1,07	ungültig *	30,42		1905,5	841,5	-1064,0

Tab.87. Substratvariante E, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.

Das Referenzsubstrat E nimmt eine Sonderstellung im Vergleich ein, da es sich hierbei um die einzige Variante aus organischen Bestandteilen handelt. Dementsprechend anders verhalten sich die Zeigerpflanzen beim vegetationstechnischen Monitoring: Die Vitalität von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* (Zeigerart für moderate Standorte) wird als einzige in der Substratvariante E mit „gut“ beurteilt. Der Zuwachs der Gesamtbiomasse ist höher als in den Vergleichssubstraten, signifikant höher ist der Zuwachs der Blattmasse. Auch bei der fotometrischen Aufnahme des Pflanzenvolumens wird bei der Substratvariante E ein viel größeres Volumen errechnet, als in den anderen Substratvarianten.

Bei *Crassula ovata*, der Zeigerpflanze für trockene Standorte, kommt es in der Substratvariante E zu Staunässe und dadurch bei zwei von drei Pflanzen zum Absterben von Wurzeln und Stammteilen. Bei einer Pflanze blieb dieses Verhalten aus. Die Pflanzenentwicklung verlief bei der dritten Pflanze überdurchschnittlich gut.

Die Vitalität von *Cyperus alternifolius*, als Zeigerpflanze für Pflanzen, die feuchte Standorte bevorzugen, ist über den Versuchszeitraum hinweg als „mäßig“ zu beurteilen. Auch der Biomassezuwachs ist „gering“. Bei einer neuerlichen Begutachtung im April 2013 erscheinen die Pflanzen jedoch äußerst vital und haben auch an Biomasse zugelegt.

E ist unter den getesteten Substratvarianten mit 223.76 kg/m³ das leichteste Substrat mit der höchsten Wasserkapazität (47,9%).

Der pH-Wert ist im unbepflanzten Zustand leicht sauer, die Differenz zwischen aktuellem (6,0) und potentiell (5,8) pH-Wert beträgt 0,2, was auf eine gute Nachlieferung von Nährionen hinweist. Nach sechsmonatiger Versuchslaufzeit liegt der aktuelle pH-Wert bei 5,5, der potentielle bei 5,3. Eine Tendenz in Richtung Bodenversauerung ist zu erkennen.

In der Substratvariante E wird unbepflanzt ein sehr hoher Phosphatgehalt (735,65 mg/kg) gemessen, der sich innerhalb von sechs Monaten auf ein ausreichendes Niveau (81,28 mg/kg) senkt. Auch der sehr hohe Kaliumgehalt von 4144,62 mg/kg liegt nach einem halben Jahr bei

530,15 mg/kg. Die Nährstoffe sind in dieser Substratvariante also sehr gut pflanzenverfügbar. Auch ist in der Substratvariante E, von allen getesteten Substraten, der höchste Gehalt an Stickstoff (fast das Hundertfache des Stickstoffgehaltes in anderen Varianten) zu verzeichnen. Das Verhältnis Kohlenstoff zu Stickstoff ist mit 30:1 allerdings nicht optimal. Anzustreben ist ein C/N-Verhältnis von bis zu 15:1.

Der hohe Biomassezuwachs ist den hohen Nährstoffwerten (durch die organischen Bestandteile) in diesem Substrat zuzuschreiben. Als Pflanzsubstrat ist die torffreie Blumenerde (E) geeignet. In der professionellen Innenraumbegrünung finden jedoch Substrate mit organischen Bestandteilen aufgrund einer möglichen Ausbildung von Pilzen, Belastung mit Insektenlarven oder Keimen und dem starken Setzungsverhalten kaum Verwendung.

8.3. Empfehlung

Aus den Untersuchungen der Eignung von verschiedenen Körnungen des natürlich gebrannten Tons (C) im Vergleich mit den Referenzsubstraten Blähtongranulat (S), Blähtonkugeln (B) und torffreie Blumenerde (E) für die Innenraumbegrünung geht der natürlich gebrannte Ton (C) in der Körnung 2/4 als am besten geeignetes Substrat hervor. Betrachtet man die Entwicklung der Indikatorpflanzen anhand der sehr aussagekräftigen Vitalitätsbestimmung, so erreicht C 2/4 die insgesamt besten Werte. Der relative Gesamtbiomassezuwachs der Versuchspflanzen war ebenfalls bei der Substratvariate C 2/4 am höchsten. Beim fotometrisch ermittelten Pflanzenvolumen befindet sich C 2/4 nach dem Erdsubstrat auf dem zweiten Rang.

Das Erdsubstrat nimmt im Versuch eine Sonderstellung ein, da es im Gegensatz zu den übrigen Substratvarianten organische Bestandteile beinhaltet. Es wurde in die Untersuchung aus dem Grund einbezogen, weil es im privaten Bereich durchaus zur Anwendung kommt. Im professionellen Innenbegrünungssektor spielen Erdsubstrate eine sehr untergeordnete Rolle. Erdsubstrate werden aufgrund ihrer potenziellen mikrobiellen Belastung und Verunreinigung mit Insektenlarven sowie wegen ihres Setzungsverhaltens nicht empfohlen. Auch zeigen Erdsubstrate eine rasche Abnahme der Nährstoffe und sollten regelmäßig ausgetauscht werden. Zu starke Bewässerung führt bei bestimmten Pflanzenarten aufgrund des hohen Wasserhaltevermögens des Substrates schneller zur Schädigung der Pflanze.

Vergleicht man den natürlich gebrannten Ton C 2/4 mit den am Markt etablierten mineralischen Substraten S (Blähtongranulat) und B (Blähtonkugeln), so erreichte C 2/4 bei jeder Zeigerart eine durchschnittlich bessere Vitalität als S und B. Auch der Biomassezuwachs war – mit einer Ausnahme – am größten.

Das Produkt natürlicher Hartbrand (C) kann daher in der Korngröße 2/4 zur Verwendung als Pflanzsubstrat für Innenraumbegrünung empfohlen werden.

Um die Eignung von C 2/4 für die Innenraumbegrünung zu optimieren, werden weitere Untersuchungen empfohlen, die folgende Zielsetzungen zum Inhalt haben:

1. Verbesserung des Wasserhaltevermögens, um den Empfehlungen der FLL - Richtlinien für Innenraumbegrünung zu entsprechen,
2. Reduktion des Gewichts, um die Attraktivität für den privaten Bereich zu erhöhen,
3. Optimierung des Nährstoffgehalts und des Nährstoffverhältnisses,
4. Evaluierung eines breiten und repräsentativen Spektrums an Pflanzenarten und
5. Entwicklung eines Düngeplans.

9. Ausblick

Im Zuge der Aufnahmen ergaben sich unterschiedliche Herausforderungen und Optimierungsmöglichkeiten bei den einzelnen Parametern, die im Folgenden vor allem in Hinblick auf weitere Forschungsarbeiten aufgezeigt werden sollen.

9.1. Anmerkungen zum Parameter Vitalität

Zur Erfassung der Vitalität, also des Gesundheitszustandes der einzelnen Pflanzen wurde eine modifizierte Bewertung, in Anlehnung an die Vitalität von Gehölzen nach BRAUN (1990) angewendet. Diese Bewertungsskala findet am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau bereits seit Jahren Anwendung, ist aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht schriftlich erfasst. Dieses System sollte mit genauen Bewertungsindikatoren publiziert werden, um eine einheitliche Beurteilung zu gewährleisten.

Im Versuch wurde deutlich, dass gewisse Pflanzenarten (wie zum Beispiel *Crassulaceen*) schlechte Bedingungen sehr lange kompensieren können und dadurch Änderungen in ihrem Wuchsverhalten erst sehr spät anzeigen. Es zeigt sich daher, dass ein Vegetationsmonitoring, wie in dieser Arbeit beschrieben, noch signifikantere Schlussfolgerungen erlaubt, wenn es zumindest eine Vegetationsperiode lang durchgeführt wird.

9.2. Anmerkungen zur Wuchslänge

Einmal im Monat wurde bei der Bonitur die Länge (Höhe) des längsten Triebes gemessen. Als Grundlage für die Beurteilung des allgemeinen Wuchsverhaltens ist diese Aufnahmemethode allerdings nicht aussagekräftig, da hierbei nur ein Trieb berücksichtigt wird. Auch das etwaige Auftreten von "Geiltrieben" fällt bei dieser Bewertungsmethode verfälschend ins Gewicht. Um auf das Wuchsverhalten der ganzen Pflanze zu schließen, könnte man sich auf eine mittlere Länge (Höhe) der Pflanze beziehen. Dabei bedarf es einer genauen Definition, wie man die durchschnittliche Höhe einer Pflanze erkennt, ohne subjektiv Einfluss auf die Messung zu nehmen.

9.3. Anmerkungen zur Infloreszenz

Im Zuge der Bonitur wurde auch die Infloreszenz (Blühfreude) der Pflanzen festgehalten. Dies ist als Ergänzung ein interessanter Parameter, schwierig ist allerdings seine Interpretation. Die Ausbildung von Blüten kann nämlich nicht immer als Zeichen von Pflanzengesundheit gesehen werden. Viele Pflanzen bringen vor allem bei Stress Blüten hervor, um zumindest durch Samenbildung das Überleben ihrer Art zu sichern.

9.4. Anmerkungen zur Bestimmung der Biomasse

Die Biomasse der Pflanzen (oberirdische und unterirdische Pflanzenteile) wurde in frischem sowie in trockenem Zustand erhoben. [Die Daten der getrockneten unterirdischen Pflanzenteile konnten nicht verwendet werden, da sich hier nicht gut ausgespülte Substratreste verfälschend auf die Masse auswirken.]

Zieht man die gewogene Masse der frischen oberirdischen Pflanzenteile von der Masse der trockenen oberirdischen Pflanzenteile ab, erhält man, wie in den Tabellen 88 bis 93 ersichtlich, die in der Pflanze gespeicherte Feuchtigkeit in Gramm.

Aufgrund fehlender Referenzwerte werden diese Ergebnisse hier nur informativ dargestellt. Für eine Interpretation müssten die Recherchen hierzu weiter vertieft werden.

Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Oberirdische Masse [g] von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>			
Substrat:	frisch	trocken	Feuchtegehalt
C 0/3	264,40	25,67	238,73
C 0/12	299,20	24,94	274,26
C 3/12	299,90	24,44	275,46
C 2/4	329,00	23,11	305,89
S	241,10	18,15	222,95
B	283,30	24,58	258,72
E	588,20	46,09	542,12

Tab.88. Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*.

Feuchtegehalt (gereiht) der oberirdischen Masse <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>	
E	542,12
C 2/4	305,89
C 3/12	275,46
C 0/12	274,26
B	258,72
C 0/3	238,73
S	222,95

Tab.89. Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* (gereiht).

Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Crassula ovata*

Oberirdische Masse [g] von <i>Crassula ovata</i>			
Substrat:	frisch	trocken	Feuchtegehalt
C 0/3	231,40	15,38	216,02
C 0/12	237,10	14,77	222,33
C 3/12	115,00	9,99	105,01
C 2/4	270,20	6,20	264,00
S	286,70	3,95	282,75
B	272,00	16,08	255,92
E	235,00	12,37	222,63

Tab.90. Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Crassula ovata*.

Feuchtegehalt (gereiht) der oberirdischen Masse von <i>Crassula ovata</i>	
S	282,75
C 2/4	264,00
B	255,92
E	222,63
C 0/12	222,33
C 0/3	216,02
C 3/12	105,01

Tab.91. Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Crassula ovata* (gereiht).

Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Cyperus alternifolius*

Oberirdische Masse [g] von <i>Cyperus alternifolius</i>			
Substrat:	frisch	trocken	Feuchtegehalt
C 0/3	18,60	3,85	14,75
C 0/12	11,90	1,95	9,95
C 3/12	6,20	1,38	4,83
C 2/4	16,40	1,41	14,99
S	6,10	3,95	2,15
B	7,80	1,69	6,11
E	2,90	0,47	2,43

Tab.92. Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Cyperus alternifolius*.

Feuchtegehalt (gereiht) der oberirdischen Masse von <i>Cyperus alternifolius</i>	
C 2/4	14,99
C 0/3	14,75
C 0/12	9,95
B	6,11
C 3/12	4,83
E	2,43
S	2,15

Tab.93. Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von *Cyperus alternifolius* (gereiht).

9.5. Anmerkungen zur fotometrischen Pflanzenvolumenbestimmung

Die Bestimmung des Pflanzenvolumens erfolgte nach einer neu entwickelten Methode. Mithilfe einer speziellen Software ist es möglich, aus Bilddaten die Maße (Länge und Breite) und den Flächeninhalt eines Blattes herauszumessen. Diese Software ist für zweidimensionale Bilder konzipiert, was zur Analyse von Blättern völlig ausreicht. Die Dreidimensionalität der zu analysierenden Pflanzen verursacht jedoch Probleme, wie sich bei den Auswertungen gezeigt hat: die Pflanzen müssen so fotografiert werden, dass alle sichtbaren Pflanzenteile eine für das Programm eindeutig erkennbare Fläche ergeben.

Probleme entstehen (wie in Abb. 45 ersichtlich) bei schwarzem Hintergrund durch Schatten der Pflanze. Die für das Auge eindeutig als Pflanze erkennbaren Stellen in der Mitte der Pflanze (wo die Pflanze am dichtesten wächst) werden vom Programm als Hintergrund gesehen und demnach nicht in der Flächenberechnung mitbewertet.

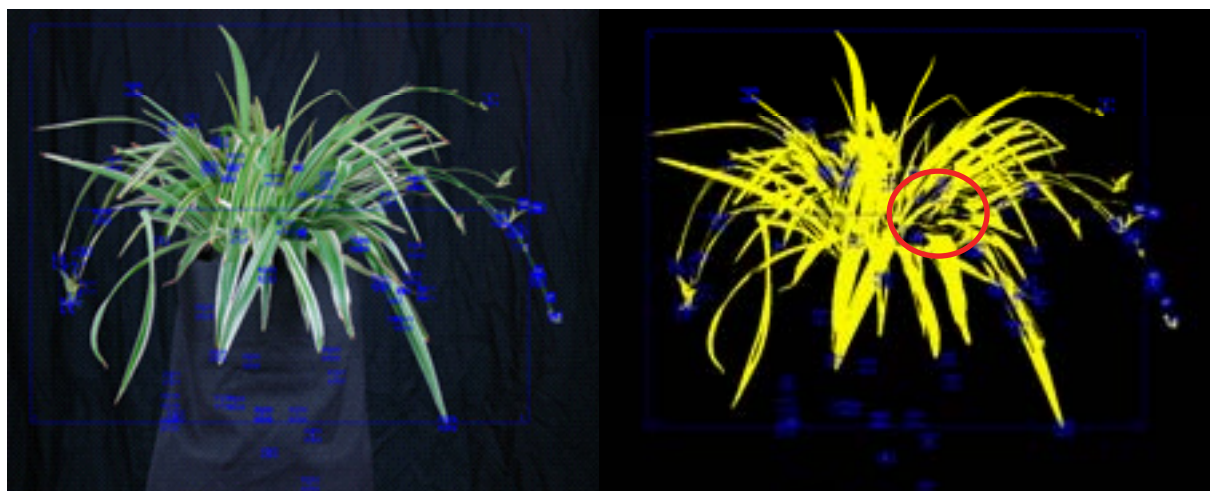


Abb.45. *Chlorophytum sp. 'Ocean'* Foto und vom Programm ausgewertete Fläche.

Ebenso verhält sich das Programm bei weißem Hintergrund mit Lichtreflexionen auf den Blättern, die dann helle Stellen am Blatt ergeben und von der Software ebenfalls dem Hintergrund zugeordnet werden (s. Abb 46).

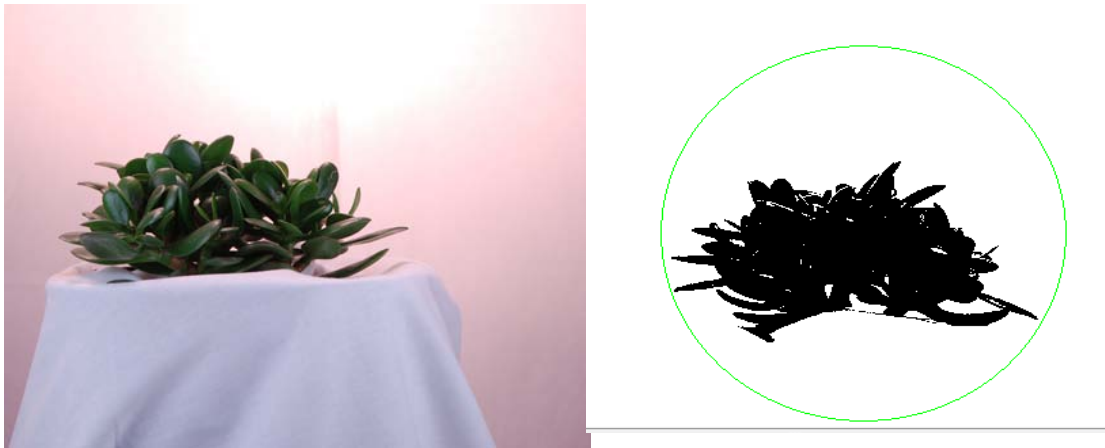


Abb.46. *Crassula ovata* und vom Programm ausgewertete Fläche.

Nachdem der Fehler bei allen Pflanzen etwa gleich war, und die vorliegende Arbeit primär auf ein Ranking innerhalb der Substrate ausgerichtet ist, war das Ergebnis für diese Untersuchung ausreichend. Für zukünftige Forschungen sollte die Ausleuchtung der Pflanzen noch weiter verbessert werden, um diese Fehlerquellen auf ein Minimum zu reduzieren.

Weiters zu beachten ist die Positionierung des Referenzquadrates zur Größenskalierung. Je weiter Teile der Pflanze von dem Quadrat entfernt sind, umso größer ist die perspektivische Verzerrung.

Im Zuge der Aufnahmen wurden die Pflanzen nicht nur von zwei Seiten, sondern auch von oben fotografiert. Die Bilddaten bezüglich der Breite der Pflanzen unterschieden sich aber erheblich, sodass die Werte der aus der Vogelperspektive geschossenen Fotos nicht in die Berechnung miteinbezogen wurden. Auch hier muss noch weiter geforscht werden, um eine optimale Kameraausrichtung sicherzustellen.

9.6. Anmerkungen zur Schüttdichte

Zur Ermittlung der Schüttdichte wurden die Substrate in unverdichtetem Zustand untersucht. Dies entspricht nicht den Anforderungen der ÖNORM B 2606 Sportplatzbeläge, die die Messung der Wasserkapazität im verdichteten Zustand verlangt. Auch die FLL-Richtlinien für Innenraumbegrünung gehen nach einer Messmethode im verdichteten Substratzustand vor, und geben ihre Richtwerte entsprechend an. Da diese Methode nicht repräsentativ erschien (im Topf soll das Substrat ja nicht verdichtet sein), wurden die Messungen im unverdichteten Substrat durchgeführt.

Um die Laborergebnisse der Nährstoffanalysen (angegeben in mg/kg) mit den Richtwerten der FLL-Richtlinien (angegeben in mg/l) vergleichen zu können, wurden die Werte mithilfe der zuvor ermittelten Schüttdichte umgerechnet. Durch die fehlende Verdichtung können sich hier Abweichungen ergeben.

9.7. Anmerkungen zu den Nährstoffuntersuchungen

In den FLL-Richtlinien finden sich bei den Tabellen der Anforderungen an Substrate für die Innenraumbegrünung lediglich Höchstgrenzen zu den verschiedenen Nährstoffen. Angaben zur Mindestmenge an erforderlichen Nährstoffen gibt es keine.

Um den Gehalt an Nährstoffen einordnen zu können, wurden die Richtlinien für sachgerechte Düngung herangezogen, die eine Unterteilung des Nährstoffgehaltes in "sehr niedrig" bis "sehr hoch" zulassen. Es muss hierbei allerdings erwähnt werden, dass sich diese Angaben auf Böden beziehen und auf landwirtschaftliche Produktion ausgelegt sind. Die Werte sind also differenziert zu betrachten und dienen nur einer ungefähren Einordnung des Gehalts der jeweiligen Nährstoffe.

Weiters wurde bei den Nährstoffanalysen lediglich der Gehalt von Stickstoff, Kohlenstoff, Phosphor und Kalium untersucht. Sonstige für die Pflanze wichtige Stoffe, wie Magnesium, Eisen, Bor uvm. wurden nicht erhoben. Für die Erstellung eines Düngungsplans sollten die Substrate auch auf Verfügbarkeit dieser Nährelemente untersucht werden.

Interessant ist auch die Interpretation der Ergebnisse der Differenz im Nährstoffhaushalt zwischen den unbepflanzten und den bepflanzten Substraten. In den Nährstoffanalysen wird durch eine Calcium-Acetat (Salz der Essigsäure)-Lactat (Salz der Milchsäure)-Lösung, die Reaktion der Pflanzenwurzeln simuliert. Als Ergebnis sollte man die pflanzenverfügbaren Nährstoffe erhalten: Die Verfügbarkeit der Nährstoffe ist aber auch von anderen Faktoren (wie unter anderem dem pH-Wert) abhängig. In der Substratvariante S (Blähtongranulat) beispielsweise wurde ein sehr hoher Kaliumgehalt gemessen. Nach sechsmonatiger Bepflanzung war der Kaliumgehalt im Substrat noch immer derselbe, was darauf hinweist, dass in dieser Substratvariante der pflanzenverfügbare Kaliumgehalt doch nicht pflanzenverfügbar war. Das vegetationstechnische Monitoring hat sich hier als ausgesprochen hilfreiche Ergänzung zu den Laboruntersuchungen erwiesen, um genauere Aussagen treffen zu können und Fehlinterpretationen zu vermeiden.

9.8. Persönliche Anmerkung

„Gäbe es die letzte Minute nicht, so würde niemals etwas fertig“

Diesem Ausspruch von Mark Twain kann ich nur beipflichten. Es gibt einen Punkt, an dem man entscheiden muss, dass eine Arbeit fertig ist. Denn in der Wissenschaft führt jedes scheinbar gelöste Problem zu zahlreichen neuen Fragen. Dies, glaube ich, ist auch in dem Kapitel „Ausblick“ meiner Arbeit deutlich ersichtlich. So war ein umfangreicher Punkt in meinem Versuchsprogramm die Entwicklung der fotometrischen Bestimmung des Pflanzenvolumens. Gerade hier sind noch einige Verbesserungen notwendig, um die Genauigkeit dieser Methode zu optimieren.

Überhaupt:

Im Bereich der Innenraumbegrünung ist noch Platz für eine Reihe von Forschungsarbeiten.

10. Literaturverzeichnis

- AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (ASI)/ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (ON) (Hrsg.) (2009): ÖNORM B 2606 Sportplatzbeläge. Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (ASI)/ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (ON) (Hrsg.) (1999): ÖNORM L 1080 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung des organischen Kohlenstoffs durch trockene Verbrennung. Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (ASI)/ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (ON) (Hrsg.) (1999): ÖNORM L 1083 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Acidität (pH-Wert). Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (ASI)/ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (ON) (Hrsg.) (2006): ÖNORM L 1087 Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von "pflanzenverfügbarem" Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode. Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE (ASI)/ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (ON) (Hrsg.) (2005): ÖNORM L 1092 Chemische Bodenuntersuchungen - Extraktion wasserlöslicher Elemente und Verbindungen. Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- BAUMGARTEN, A. (2008): Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Garten und Feldgemüsebau. Eigenverlag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BLANC, P. (2009): Vertikale Gärten, die Natur in der Stadt. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- BLUM, W. (2012): Bodenkunde in Stichworten. 7. Auflage. Gebr. Borntraeger, Stuttgart.
- BRAUN, C. (1990): Der Zustand der Wiener Stadtbäume. Interpretation des Kronenzustandes und vergleichende Untersuchung des Mineralstoffhaushaltes. Eigenverlag des Magistrats der Stadt Wien, MA 22 - Umweltschutz, Wien.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. Wien.
- BÜRKI, M. und FUCHS, M. (2004): Bildatlas Topfpflanzen für Zimmer und Balkon. Steckbriefe und Tabellen von A-Z. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- ERLER, M. (2012): Innenraumbegrünung: LED the green grow. Masterarbeit im Bereich Vegetationstechnik am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- FLEHMIG, A. und STRAUSS, F. (2000): Zimmerpflanzen für Einsteiger. Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München.

- FLORINETH, F. (2012): Pflanzen statt Beton. Sichern und Gestalten mit Pflanzen. Patzer Verlag, Berlin-Hannover.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (FLL) (Hrsg.) (2011): Innenraumbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenräumen. Bonn.
- GREINER, K. und WEBER, A. (2004): Zimmerpflanzen - Das neue Standardwerk mit über 200 beliebten Pflanzen im Portrait. Gräfe und Unzer GmbH, München.
- HEITZ, H. (1990): So grünen und blühen sie am schönsten: Zimmerpflanzen: der große GU-Bild-Ratgeber, Porträts und Pflegeanleitungen der beliebtesten Grün- und Blütenpflanzen sowie Novitäten und Raritäten. Gräfe und Unzer GmbH, München.
- HENZE, M. (2001): Innenraumbegrünung in Europa. In: Jahrbuch Innenraumbegrünung - 2001. Thalacker Medien, Braunschweig.
- JANSEN, D. (1998): Klimatisierung und Lichttechnik. In: Handbuch Innenraumbegrünung. Bernhard Thalacker Verlag GmbH & Co. KG, Braunschweig.
- KERSTJENS, K.-H. (1998): Geschichte der Innenraumbegrünung. In: Handbuch Innenraumbegrünung. Bernhard Thalacker Verlag GmbH & Co. KG, Braunschweig.
- KERSTJENS, K.-H. (1998): Begrünungssysteme erstellen. In: Handbuch Innenraumbegrünung. Bernhard Thalacker Verlag GmbH & Co. KG, Braunschweig.
- MEYERS KONVERSATIONS-LEXIKON (1897): Ein Nachschlagwerk des allgemeinen Wissens. 5. Auflage, Bibliographisches Institut, Leipzig und Wien.
- MOLITOR, H.-D. (1992): Ernährung von Hydrokulturen im Objektbereich. In: Hydrokultur in der Innenraumbegrünung, Verlag Bernhard Thalacker, Braunschweig.
- MOLITOR, H. D. (1998): Pflanzenernährung im Objektbereich. In: Handbuch Innenraumbegrünung. Bernhard Thalacker Verlag GmbH & Co. KG, Braunschweig.
- MÜLLER, R. (1996): Hydrokultur. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- SAULE, B. und MEYER, D. (2000): Versailles, Museumsführer. Éditions Art Lys, Versailles.
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage, Spektrum akademischer Verlag, Heidelberg.
- SCHUBERT M. (1994): Wohnen mit Blumen. BLV-Verlagsgesellschaft mbH, München.
- SIMON, H. (o. J.): Das neue BLV-Zimmerpflanzenbuch. Auswahl nach Standorten, Pflanzenportraits, Pflegeportraits. 7. Auflage, BLV-Verlagsgesellschaft mbH, München.
- SQUIRE, D. und CROWTHER, M. (2002): Grundkurs Zimmerpflanzen - Arten, Pflege, Vermehrung. Augustus Verlag, München.
- UPMEIER, M. (2001): Rein mineralische Substrate in der Innenraumbegrünung. In: Jahrbuch Innenraumbegrünung - 2001. Thalacker Medien, Braunschweig.

VETH, R. (Hrsg.) (1998) Handbuch Innenraumbegrünung. Tahlacker Medien, Bernhard Thalacker Verlag GmbH & Co. KG, Braunschweig.

VOLM, C. (2002): Innenraumbegrünung in Theorie und Praxis. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.

Internetquellen:

ARBEITSKREIS FÜR KRANKENHAUSHYGIENE DES MAGISTRATS DER STADT WIEN MA 15 - GESUNDHEITSWESEN UND SOZIALES (1990): Blumen und Pflanzen im Krankenhaus. <http://www.gartenshop.at/downloads/pflanzenimkrankenhaus.pdf>_04.06.2012, 10:20.

BLUMEN-GARTEN-PFLANZEN: <http://www.blumen-garten-pflanzen.de/zimmerpflanzen/einblatt-spathiphyllum.htm>_1.4.2013, 18:03.

HALDITT: <http://www.halditt.at/de/über-uns.html>_04.05.2013, 12:01.

POWTEC: Normgerechte Bestimmung der Schüttdichte. http://www.powtec.de/download/smg_de.pdf_26.07.2013.

UNI GOETTINGEN: Lehrveranstaltungsunterlagen. <http://www.uni-goettingen.de/de/document/download/369572ea410d339cec728f3da97148d7.pdf>/Bodenwasser.pdf
26. 7. 2013.

WEIDLFEIN: <http://www.weidlfein.com/gartenkunst/innenraumbegrueung.html>_23.07.2013.

WIKIPEDIA: <http://de.wikipedia.org/wiki/Katzengras>_01.04.2013, 18:32.

Auskunftspersonen:

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Axel Mentler
Institut für Bodenforschung, Department für Wald- und Bodenwissenschaften,
Universität für Bodenkultur Wien
am 24. 06. 2013

11. Abbildungsverzeichnis

Abb.1.	Orangerie in Versailles.(Quelle: SAULE, B. und MEYER D. (2000): Versailles, Museumsführer. Éditions Art Lys, Versailles, S. 78).	17
Abb.2.	Ward'scher Kasten.Quelle: WARD, N. B. (1852): On the growth of plants in closely glazed cases. Samuel Bentley and Co, London. S. 71).	17
Abb.3.	Grüne Wand (Patrick Blanc) in einem Einkaufszentrum in Siam.(Quelle: BLANC, P. (2009): Vertikale Gärten, die Natur in der Stadt S. 169).	18
Abb.4.	Innenraumbegrünung (Weidlfein) im Hotel Daniel.(Quelle: http://www.weidlfein.com/gartenkunst/innenraumbegrueung.html_23.07.2013.)	18
Abb.6.	Wasseranstau im Substrat. (Quelle: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (FLL) (2011): Innenraumbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenräumen. Bonn. S.21).	21
Abb.7.	Seperater Wasserspeicher unter Schichtaufbau mit Dochtsystem. (Quelle: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (FLL) (2011): Innenraumbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenräumen. Bonn. S.22).	21
Abb.8.	Absorptionsspektren von Chlorophyll a und b nach RICHTER, 1988. (Quelle: VOLM C. (2002): Innenraumbegrünung in Theorie und Praxis. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart. S. 37).	22
Abb.9.	Natürlich gebrannter Ton (C 0/3).	25
Abb.10.	Natürlich gebrannter Ton (C 0/12).	25
Abb.11.	Natürlich gebrannter Ton (C 3/12).	25
Abb.12.	Natürlich gebrannter Ton (C 2/4).	26
Abb.15.	Torffreie Blumenerde (E).	26
Abb.13.	Blähtongranulat (S).	26
Abb.14.	Blähtonkugeln (B).	26
Abb.16.	Versuchsaufbau am Institut für Ingeueurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur Wien.	28
Abb.17.	<i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'.	29
Abb.18.	<i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean', Ansicht von oben.	29
Abb.19.	<i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean', Wurzel.	29
Abb.20.	<i>Crassula ovata</i> .	30
Abb.21.	<i>Crassula ovata</i> , Ansicht von oben.	30
Abb.22.	<i>Crassula ovata</i> , Wurzel.	30
Abb.23.	<i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc'.	31
Abb.24.	<i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc', Ansicht von oben.	31
Abb.25.	<i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc', Wurzel.	31
Abb.26.	<i>Cyperus alternifolius</i> .	32
Abb.27.	<i>Cyperus alternifolius</i> , Ansicht von oben.	32
Abb.28.	<i>Cyperus alternifolius</i> , Wurzel.	32
Abb.29.	Messvorgang.	39
Abb.30.	<i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc' auf der Feinwaage.	47
Abb.31.	Messgeräte.	47
Abb.32.	Verhältnis unterirdischer zu oberirdischer Masse bei <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' (in frischem Zustand) in den verschiedenen Substratvarianten bei Versuchsende (grüne Diagramme) im Vergleich zu den Referenzpflanzen bei Versuchsbeginn (rotes Diagramm).	52

Abb.33.	Verhältnis unterirdischer zu oberirdischer Masse bei <i>Crassula ovata</i> (in frischem Zustand) in den verschiedenen Substratvarianten bei Versuchsende (grüne Diagramme) im Vergleich zu den Referenzpflanzen bei Versuchsbeginn (rotes Diagramm).	56
Abb.34.	Verhältnis unterirdischer zu oberirdischer Masse bei <i>Cyperus alternifolius</i> (in frischem Zustand) in den verschiedenen Substratvarianten bei Versuchsende (grüne Diagramme) im Vergleich zu den Referenzpflanzen bei Versuchsbeginn (rotes Diagramm).	59
Abb.35.	Aufbau des Fotostudios.	61
Abb.36.	Der Topf der Pflanze muss völlig verdeckt sein, damit nur die Pflanze auf dem Foto sichtbar ist.	61
Abb.37.	Foto von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' vor schwarzem Hintergrund.	62
Abb.39.	<i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' im Programm analysiert und berechnet.	62
Abb.40.	Foto von <i>Crassula ovata</i> vor weißem Hintergrund.	62
Abb.38.	<i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' im <i>Winfolia</i> - Programm dargestellt.	62
Abb.41.	<i>Crassula ovata</i> im Programm analysiert und berechnet.	62
Abb.42.	zur Volumenberechnung herangezogene Parameter.	63
Abb.43.	in Ansicht b ist die Pflanze um 90° gedreht.	63
Abb.44.	Substratvarianten in Lösung.	76
Abb.45.	<i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' Foto und vom Programm ausgewertete Fläche.	109
Abb.46.	<i>Crassula ovata</i> und vom Programm ausgewertete Fläche.	110
Abb.48.	Anforderungen an rein mineralische Substrate (Quelle: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (FLL) (2011): Innenraumbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenräumen. Bonn. S.21). S.29)	123
Abb.49.	Anforderungen an mineralisch - organische Substrate (Quelle: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (FLL) (2011): Innenraumbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenräumen. Bonn. S.21). S.30)	124
Abb.50.	Anforderungen an Substrate für Hydrokultur (Quelle: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU e.V. (FLL) (2011): Innenraumbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenräumen. Bonn. S.21). S.31)	125

12. Tabellenverzeichnis

Tab.1.	Beispiel für ein Boniturprotokoll.	33
Tab.2.	Vitalität (gemittelt, gereiht und bewertet) mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	34
Tab.3.	Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	34
Tab.4.	Vitalität (gemittelt, gereiht und bewertet) mit Diagramm von <i>Crassula ovata</i> von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	35
Tab.5.	Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von <i>Crassula ovata</i> von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	35
Tab.6.	Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von <i>Crassula ovata</i> am 29.04.2013.	35
Tab.7.	Vitalität (gemittelt, gereiht und bewertet) mit Diagramm von <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc' von 26.09.2012 bis 25.10.2012.	37
Tab.8.	Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc' von 26.09.2012 bis 25.10.2012.	37
Tab.9.	Vitalität (gemittelt, gereiht und bewertet) mit Diagramm von <i>Cyperus alternifolius</i> von 05.12.2012 bis 13.02.2013.	38
Tab.10.	Durchschnittliche Vitalität (gereiht und bewertet) von <i>Cyperus alternifolius</i> von 05.12.2012 bis 13.02.2013.	38
Tab.11.	Wuchslängen (gemittelt) mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	40
Tab.12.	Zuwachs (gereiht) von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	40
Tab.13.	Wuchslängen (gemittelt) mit Diagramm von <i>Crassula ovata</i> von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	41
Tab.14.	Zuwachs (gereiht) von <i>Crassula ovata</i> von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	41
Tab.15.	Wuchslängen (gemittelt) mit Diagramm von <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc' von 26.09.2012 bis 25.10.2012.	42
Tab.16.	Zuwachs (gereiht) von <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc' von 26.09.2012 bis 25.10.2012.	42
Tab.17.	Wuchslängen (gemittelt) mit Diagramm von <i>Cyperus alternifolius</i> von 05.12.2012 bis 13.02.2013.	43
Tab.18.	Zuwachs (gereiht) von <i>Cyperus alternifolius</i> von 05.12.2012 bis 13.02.2013.	43
Tab.19.	Infloreszenz bei <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' von 26.09.2012 bis 13.02.2013.	44
Tab.20.	Blattfestigkeit bei <i>Crassula ovata</i> von 26.09.12 bis 29.04.2013.	45
Tab.21.	Gesamtbiomasse frisch mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 22.03.2013.	47
Tab.22.	Gesamtbiomasse frisch (gereiht) von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 22.03.2013.	48
Tab.23.	Blattmasse frisch mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 22.03.2013.	49
Tab.24.	Blattmasse frisch (gereiht) von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 22.03.2013.	49
Tab.25.	Masse der Kindel frisch mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 22.03.2013.	50
Tab.26.	Masse der Kindel frisch (gereiht) von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 22.03.2013.	50
Tab.27.	Oberirdische Masse frisch mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 22.03.2013.	51
Tab.28.	Oberirdische Masse frisch (gereiht) von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 22.03.2013.	51

Tab.29.	Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013.	51
Tab.30.	Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch (gereiht) von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013.	51
Tab.31.	Gesamtbiomasse frisch mit Diagramm von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	53
Tab.32.	Gesamtbiomasse frisch (gereiht) von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	53
Tab.33.	Blattmasse frisch mit Diagramm von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	54
Tab.34.	Blattmasse frisch (gereiht) von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	54
Tab.35.	Oberirdische Masse frisch mit Diagramm von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	55
Tab.36.	Oberirdische Masse frisch (gereiht) von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	55
Tab.37.	Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch mit Diagramm von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	55
Tab.38.	Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch (gereiht) von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	55
Tab.39.	Gesamtbiomasse frisch mit Diagramm von <i>Cyperus alternifolius</i> am 16.03.2013.	57
Tab.40.	Gesamtbiomasse frisch (gereiht) von <i>Cyperus alternifolius</i> am 16.03.2013.	57
Tab.41.	Oberirdische Masse = Blattmasse frisch mit Diagramm von <i>Cyperus alternifolius</i> am 16.03.2013.	58
Tab.42.	Oberirdische Masse = Blattmasse frisch (gereiht) von <i>Cyperus alternifolius</i> am 16.03.2013.	58
Tab.43.	Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch mit Diagramm von <i>Cyperus alternifolius</i> am 16.03.2013.	58
Tab.44.	Unterirdische Masse = Wurzelmasse frisch (gereiht) von <i>Cyperus alternifolius</i> am 16.03.2013.	58
Tab.46.	Fotometrisch ermitteltes Pflanzenvolumen bei <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> im Februar 2013 (gereiht).	64
Tab.47.	Fotometrisch ermitteltes Pflanzenvolumen bei <i>Crassula ovata</i> im Februar 2013.	65
Tab.48.	Fotometrisch ermitteltes Pflanzenvolumen bei <i>Crassula ovata</i> im Februar 2013 (gereiht).	65
Tab.49.	Überblick über ausgewählte vegetationstechnische Parameter	67
Tab.50.	Setzungen (in cm) in den Substratvarianten am 20. 02. 2013 nach einem halben Jahr Versuchslaufzeit bei <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> .	70
Tab.51.	Setzungen (in cm) in den Substratvarianten am 20. 02. 2013 nach einem halben Jahr Versuchslaufzeit bei <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> (gereiht).	71
Tab.52.	Setzungen (in cm) in den Substratvarianten am 20. 02. 2013 nach einem halben Jahr Versuchslaufzeit bei <i>Crassula ovata</i> .	71
Tab.53.	Setzungen (in cm) in den Substratvarianten am 20. 02. 2013 nach einem halben Jahr Versuchslaufzeit bei <i>Crassula ovata</i> (gereiht).	71
Tab.54.	Schüttdichte in g/l und kg/m ³ .	72
Tab.55.	Schüttdichte in g/l, gereiht.	72
Tab.56.	Trocken- und Feuchtgewicht in g sowie Wasserkapazität in %	73
Tab.57.	Wasserkapazität in % (gereiht).	73
Tab.58.	Volumetrischer Wassergehalt über den Messzeitraum von fünf Tagen bei <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> .	74
Tab.59.	Volumetrischer Wassergehalt über den Messzeitraum von fünf Tagen bei <i>Crassula ovata</i> .	75
Tab.60.	Aktueller und potentieller pH-Wert im unbepflanzten Substrat.	77
Tab.61.	Differenz zwischen aktuellem und potentielltem pH-Wert im unbepflanzten Substrat (gereiht).	77
Tab.62.	Aktueller und potentieller pH-Wert im bepflanzten Substrat.	78

Tab.63.	Differenz zwischen aktuellem und potentielltem pH-Wert im bepflanzten Substrat (gereiht).	78
Tab.64.	Einstufung des Phosphorgehaltes nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (2006).	79
Tab.66.	P-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.(gereiht).	80
Tab.65.	P-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.	80
Tab.67.	P ₂ O ₅ -Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.	81
Tab.68.	Einstufung des Kaliumgehaltes nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (2006).	82
Tab.69.	K-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.	82
Tab.70.	K-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten (gereiht).	83
Tab.71.	K ₂ O-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten.	83
Tab.72.	C-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten (gereiht).	84
Tab.73.	N-Gehalt im unbepflanzten und bepflanzten Substrat sowie Änderung nach 6 Monaten (gereiht).	85
Tab.74.	C/N-Verhältnis im unbepflanzten und bepflanzten Substrat.	85
Tab.75.	Elektrische Leitfähigkeit in den Substraten vor und nach der Bepflanzung.	86
Tab.76.	Elektrische Leitfähigkeit in den Substraten vor der Bepflanzung (gereiht).	87
Tab.77.	Elektrische Leitfähigkeit in den Substraten nach der Bepflanzung (gereiht).	87
Tab.78.	Änderung der elektrischen Leitfähigkeit in den Substraten vor und nach der Bepflanzung (gereiht).	87
Tab.79.	Überblick über ausgewählte die chemisch - physikalischen Parameter in Form einer Matrix (Teil 1).	88
Tab.80.	Überblick über ausgewählte die chemisch - physikalischen Parameter in Form einer Matrix (Teil 2).	89
Tab.81.	Substratvariante C 0/3, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.	93
Tab.82.	Substratvariante C 0/12, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.	95
Tab.83.	Substratvariante C 3/12, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.	97
Tab.84.	Substratvariante C 2/4, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.	98
Tab.85.	Substratvariante S, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.	100
Tab.86.	Substratvariante B, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.	102
Tab.87.	Substratvariante E, Überblick zu vegetationstechnischen und physikalisch - chemischen Parametern.	103
Tab.88.	Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean'.	108
Tab.89.	Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' (gereiht).	108
Tab.90.	Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von <i>Crassula ovata</i> .	108
Tab.91.	Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von <i>Crassula ovata</i> (gereiht).	108

Tab.92.	Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von <i>Cyperus alternifolius</i> .	109
Tab.93.	Feuchtegehalt der oberirdischen Pflanzenteile von <i>Cyperus alternifolius</i> (gereiht).	109
Tab.94.	Boniturprotokoll von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 26.09.2012.	126
Tab.95.	Boniturprotokoll von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 25.10.2012.	126
Tab.96.	Boniturprotokoll von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 05.12.2012.	127
Tab.97.	Boniturprotokoll von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 08.01.2013.	127
Tab.98.	Boniturprotokoll von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 13.02.2013.	128
Tab.99.	Boniturprotokoll von <i>Crassula ovata</i> am 26.09.2012.	129
Tab.100.	Boniturprotokoll von <i>Crassula ovata</i> am 25.10.2012.	129
Tab.101.	Boniturprotokoll von <i>Crassula ovata</i> am 05.12.2012.	130
Tab.102.	Boniturprotokoll von <i>Crassula ovata</i> am 08.01.2013.	130
Tab.103.	Boniturprotokoll von <i>Crassula ovata</i> am 13.02.2013.	131
Tab.104.	Boniturprotokoll (Nachbonitur) von <i>Crassula ovata</i> am 29.04.2013.	131
Tab.105.	Boniturprotokoll von <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc' am 06.09.2012.	132
Tab.106.	Boniturprotokoll von <i>Spatiphyllum sp.</i> 'Mont Blanc' am 25.10.2012.	132
Tab.107.	Boniturprotokoll von <i>Cyperus alternifolius</i> am 05.12.2012.	133
Tab.108.	Boniturprotokoll von <i>Cyperus alternifolius</i> am 08.01.2013.	133
Tab.109.	Boniturprotokoll von <i>Cyperus alternifolius</i> am 13.02.2013.	133
Tab.110.	Aufnahmeprotokoll Biomasse der Referenzpflanzen von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' am 12.09.2012.	134
Tab.111.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in C 0/3.	135
Tab.112.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in C 0/12.	135
Tab.113.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in C 3/12.	136
Tab.114.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in C 2/4.	136
Tab.115.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in S.	137
Tab.116.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in B.	137
Tab.117.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' in E.	138
Tab.118.	Aufnahmeprotokoll Biomasse der Referenzpflanzen von <i>Crassula ovata</i> am 12.09.2012.	139
Tab.119.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Crassula ovata</i> in C 0/3.	140
Tab.120.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Crassula ovata</i> in C 0/12.	140
Tab.121.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Crassula ovata</i> in C 3/12.	141
Tab.122.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Crassula ovata</i> in C 2/4.	141
Tab.123.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Crassula ovata</i> in S.	142
Tab.124.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Crassula ovata</i> in B.	142
Tab.125.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Crassula ovata</i> in E.	143
Tab.126.	Aufnahmeprotokoll Biomasse der Referenzpflanzen	

	von <i>Cyperus alternifolius</i> am 12.09.2012.	144
Tab.127.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Cyperus alternifolius</i> in C 0/3.	145
Tab.128.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Cyperus alternifolius</i> in C 0/12.	145
Tab.129.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Cyperus alternifolius</i> in C 3/12.	146
Tab.130.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Cyperus alternifolius</i> in C 2/4.	146
Tab.131.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Cyperus alternifolius</i> in S.	147
Tab.132.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Cyperus alternifolius</i> in B.	147
Tab.133.	Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von <i>Cyperus alternifolius</i> in E.	148
Tab.134.	Gesamtbiomasse trocken mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013.	150
Tab.135.	Gesamtbiomasse trocken (gereiht) von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013.	150
Tab.136.	Blattmasse trocken mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013.	151
Tab.137.	Blattmasse trocken (gereiht) von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013.	151
Tab.138.	Masse der Kindel mit Diagramm von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013.	151
Tab.139.	Masse der Kindel trocken (gereiht) von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> am 22.03.2013.	151
Tab.140.	Gesamtbiomasse (trocken) mit Diagramm von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	152
Tab.141.	Gesamtbiomasse trocken (gereiht) von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	152
Tab.142.	Blattmasse trocken mit Diagramm von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	152
Tab.143.	Blattmasse (gereiht) von <i>Crassula ovata</i> am 22.03.2013.	152
Tab.144.	Gesamtbiomasse (trocken) mit Diagramm von <i>Cyperus alternifolius</i> am 22.03.2013.	153
Tab.145.	Gesamtbiomasse trocken (gereiht) von <i>Cyperus alternifolius</i> am 22.03.2013.	153
Tab.146.	Blattmasse trocken mit Diagramm von <i>Cyperus alternifolius</i> am 22.03.2013.	153
Tab.147.	Blattmasse trocken (gereiht) von <i>Cyperus alternifolius</i> am 22.03.2013.	153
Tab.148.	Aufnahmeprotokoll Fotometrie <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> .	154
Tab.149.	Fotometrische Pflanzenvolumenberechnung <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> .	155
Tab.150.	Aufnahmeprotokoll Fotometrie <i>Crassula ovata</i> .	156
Tab.151.	Fotometrische Pflanzenvolumenberechnung <i>Crassula ovata</i> .	157

13. Anhang

13.1. Anforderungen an die vegetationstechnischen Eigenschaften von Substraten für die Innenraumbegrünung nach FLL-Richtlinien (2011)

13.1.1. Anforderungen an rein mineralische Substrate

(Alle Werte sind auf den Zustand bei definierter Laborverdichtung bezogen und gelten für ungemahlene Substrate vor Gebrauch)

Eigenschaften	Anforderungen	
	Einheit	Kennwert
Korngrößenverteilung		
- Anteil an abschlämmbaren Teilen (d ≤ 0,063 mm)	% Massenanteil	≤ 10
- Anteil an abschlämmbaren Teilen (d ≤ 0,063 mm) bei einschichtiger Bauweise in geschlossenen Systemen	% Massenanteil	≤ 4
- Anteil an Teilen d > 2 mm	% Massenanteil	≥ 75
Rohdichte (Volumengewicht)		
- in trockenem Zustand ¹⁾	g/cm ³	-
- bei max. Wasserkapazität ¹⁾	g/cm ³	-
Wasser-/Lufthaushalt		
- Gesamtporenvolumen *	Vol.-%	-
- maximale Wasserkapazität	Vol.-%	≥ 20
- Luftkapazität bei maximaler Wasserkapazität	Vol.-%	≥ 15
pH-Wert, Salzgehalt		
- pH-Wert (in CaCl ₂)		5,5 – 8,0
- Salzgehalt (Wasserextrakt, im Bedarfsfall Gipsextrakt)	g/l	≤ 0,75
Nährstoffe ²⁾		
- Pflanzenverfügbare Nährstoffe		
- Stickstoff (N) (in CaCl ₂)	mg/l	≤ 80
- Phosphor (P ₂ O ₅) (in CAL)	mg/l	≤ 100
- Kalium (K ₂ O) (in CAL)	mg/l	≤ 500
- Magnesium (Mg) (in CaCl ₂)	mg/l	≤ 150
- Pflanzenverfügbare Nährstoffe (in CAT)		
- Stickstoff (N)	mg/l	≤ 80
- Phosphor (P ₂ O ₅)	mg/l	≤ 50
- Kalium (K ₂ O)	mg/l	≤ 400
- Magnesium (Mg)	mg/l	≤ 150
Sonstige Stoffe		
- Chlorid (Cl)	mg/l	≤ 50
- Fluorid (F)	mg/l	- ³⁾
- Natrium (Na)	mg/l	≤ 50

1) Auch die Eigenschaften, die nicht durch Kennwerte klassifiziert werden, müssen deklariert werden

2) Angabe entweder in CAL/Calciumchlorid oder CAT in Abhängigkeit von der Labormethode

3) Grenzwerte werden zurzeit noch ermittelt

Abb.47. Anforderungen an rein mineralische Substrate (Quelle: FLL 2011, S.29)

13.1.2. Anforderungen an mineralisch-organische Substrate

(Alle Werte sind auf den Zustand bei definierter Laborverdichtung bezogen und gelten für ungemahlene Substrate vor Gebrauch)

Eigenschaften	Anforderungen	
	Einheit	Kennwert
Korngrößenverteilung		
- Anteil an abschlämmbaren Teilen (d ≤ 0,063 mm)	% Massenanteil	≤ 15
- Anteil an Teilen d > 2 mm	% Massenanteil	≥ 75
Rohdichte (Volumengewicht)		
- in trockenem Zustand ¹⁾	g/cm ³	-
- bei max. Wasserkapazität ¹⁾	g/cm ³	-
Wasser-/Lufthaushalt		
- Gesamtporenvolumen ¹⁾	Vol.-%	-
- maximale Wasserkapazität	Vol.-%	≥ 30
- Luftkapazität bei maximaler Wasserkapazität	Vol.-%	≥ 15
pH-Wert, Salzgehalt		
- pH-Wert (in CaCl ₂)		5,5 – 7,5
- Salzgehalt (Wasserextrakt, im Bedarfsfall Gipsextrakt)	g/l	<1,25
Organische Substanz		
- Gehalt an organischer Substanz	g/l	≤ 65
Nährstoffe ²⁾		
- Pflanzenverfügbare Nährstoffe		
- Stickstoff (N) (in CaCl ₂)	mg/l	≤ 80
- Phosphor (P ₂ O ₅) (in CAL)	mg/l	≤ 100
- Kalium (K ₂ O) (in CAL)	mg/l	≤ 500
- Magnesium (Mg) (in CaCl ₂)	mg/l	≤ 150
- Pflanzenverfügbare Nährstoffe (in CAT)		
- Stickstoff (N)	mg/l	≤ 80
- Phosphor (P ₂ O ₅)	mg/l	≤ 50
- Kalium (K ₂ O)	mg/l	≤ 400
- Magnesium (Mg)	mg/l	≤ 150
Sonstige Stoffe		
- Chlorid (Cl)	mg/l	≤ 50
- Fluorid (F)	mg/l	≤ ³⁾
- Natrium (Na)	mg/l	≤ 50

1) Auch die Eigenschaften, die nicht durch Kennwerte klassifiziert werden, müssen deklariert werden

2) Angabe entweder in CAL/Calciumchlorid oder CAT in Abhängigkeit von der Labormethode

3) Grenzwerte werden zurzeit noch ermittelt

Abb.48. Anforderungen an mineralisch - organische Substrate (Quelle: FLL 2011, S.30)

13.1.3. Anforderungen an Substrate für Hydrokultur

(Alle Werte sind auf den Zustand bei definierter Laborverdichtung bezogen und gelten für Substrate vor Gebrauch)

Eigenschaften	Anforderungen	
	Einheit	Kennwert
Korngrößenverteilung		
- Anteil an Unterkorn	% Massenanteil	≤ 15
- Anteil an Überkorn	% Massenanteil	≥ 15
- Bruchanteil	% Massenanteil	≤ 10
Rohdichte (Volumengewicht)		
- in trockenem Zustand ¹	g/cm ³	-
Wassersteighöhe	cm	≥ 8
pH-Wert, Salzgehalt		
- pH-Wert (CaCl ₂)		≥ 5,5
- Salzgehalt (Wasserextrakt)	g/l	≤ 1,25
Nährstoffe ²⁾		
- Pflanzenverfügbare Nährstoffe		
- Stickstoff (N)	mg/l	≤ 3
- Phosphor (P ₂ O ₅)	mg/l	≤ 3
- Kalium (K ₂ O)	mg/l	≤ 3
- Magnesium (Mg)	mg/l	≤ 75
Sonstige Stoffe ²⁾		
- Chlorid (Cl)	mg/l	≤ 50
- Fluorid (F)	mg/l	≤ 5 ⁴⁾
- Natrium (Na)	mg/l	≤ 50

1) Auch die Eigenschaften, die nicht durch Kennwerte klassifiziert werden, müssen deklariert werden

2) Angaben im Wasserextrakt von gemahlenem Material

3) Grenzwerte werden zurzeit noch ermittelt

4) für Fluorid empfindliche Kulturen < 2,5 mg/l

Abb.49. Anforderungen an Substrate für Hydrokultur (Quelle: FLL 2011, S.31)

13.2. Boniturprotokolle

13.2.1. Boniturprotokolle von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Boniturprotokoll												
Datum: 26.09.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Infloreszenz			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	3	3	3	3,0	45	49	44	46	x	x	x	3/3
C 0/12	4	4	2	3,3	39	50	40	43	x	x		2/3
C 3/12	3	3	3	3,0	45	46	41	44	x	x	x	3/3
C 2/4	3	2	2	2,3	49	52	41	47	x	x	x	3/3
S	4	2	3	3,0	43	50	39	44	x	x		2/3
B	3	3	2	2,7	41	41	54	45	x	x	x	3/3
E	3	3	2	2,7	43	49	57	50	x	x	x	3/3

Tab.94. Boniturprotokoll von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 26.09.2012.

Boniturprotokoll												
Datum: 25.10.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Infloreszenz			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	4	3	3	3,3	35	49	43	42	x	x	x	3/3
C 0/12	3	2	3	2,7	37	48	40	42	x	x	x	3/3
C 3/12	4	3	3	3,3	40	49	43	44	x	x	x	3/3
C 2/4	3	1	2	2,0	47	50	45	47	x	x	x	3/3
S	3	3	2	2,7	39	48	45	44	x	x	x	3/3
B	3	3	2	2,7	40	45	53	46	x	x	x	3/3
E	1	1	1	1,0	50	51	51	51	x	x	x	3/3

Tab.95. Boniturprotokoll von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 25.10.2012.

Boniturprotokoll												
Datum: 05.12.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Infloreszenz			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
1	2	3	1		2	3	1		2	3		
C 0/3	4	4	3	3,7	44	49	47	47	x	x	x	3/3
C 0/12	4	4	2	3,3	44	50	44	46	x	x	x	3/3
C 3/12	3	3	2	2,7	42	51	45	46	x	x	x	3/3
C 2/4	3	3	2	2,7	49	51	47	49	x	x	x	3/3
S	4	3	3	3,3	42	51	44	46	x	x	x	3/3
B	3	3	2	2,7	42	51	55	49	x	x	x	3/3
E	1	1	2	1,3	57	57	54	56	x	x	x	3/3

Tab.96. Boniturprotokoll von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 05.12.2012.

Boniturprotokoll												
Datum: 08.01.2013												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Infloreszenz			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
1	2	3	1		2	3	1		2	3		
C 0/3	3	4	3	3,3	44	50	47	47	x	x	x	3/3
C 0/12	3	3	2	2,7	44	52	45	47			x	1/3
C 3/12	3	3	2	2,7	46	53	49	49		x		1/3
C 2/4	3	3	2	2,7	49	51	50	50		x	x	2/3
S	3	3	3	3,0	44	51	45	47				0/3
B	3	3	2	2,7	46	51	55	51	x	x		2/3
E	1	1	1	1,0	57	63	58	59	x	x		2/3

Tab.97. Boniturprotokoll von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 08.01.2013.

Boniturprotokoll												
Datum: 13.02.2013												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Infloreszenz			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	4	4	4	4,0	46	50	48	48	x	x	x	3/3
C 0/12	3	3	3	3,0	45	52	45	47		x	x	2/3
C 3/12	3	2	3	2,7	48	52	47	49	x	x	x	3/3
C 2/4	3	3	3	3,0	51	51	50	51	x	x	x	3/3
S	4	3	4	3,7	42	49	45	45	x	x		2/3
B	3	3	3	3,0	48	50	53	50	x	x	x	3/3
E	1	1	2	1,3	57	63	57	59	x	x	x	3/3

Tab.98. Boniturprotokoll von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 13.02.2013.

13.2.2. Boniturprotokolle von *Crassula ovata*

Boniturprotokoll												
Datum: 26.09.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Crassula ovata</i>												
Substrat	Vitalität				längster Trieb [cm]				Blattfestigkeit			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	4	2	3	3,0	11	10	10	10,3				
C 0/12	4	2	3	3,0	12	10	10	10,7				
C 3/12	3	4	3	3,0	11	11	13	12,0				
C 2/4	3	2	3	2,7	11	12	13	12,0				
S	4	4	3	3,7	12	11	11	11,3				
B	3	4	3	3,3	10	12	15	12,3				
E	5	2	3	3,3	8	10	8	8,7				

Tab.99. Boniturprotokoll von *Crassula ovata* am 26.09.2012.

Boniturprotokoll												
Datum: 25.10.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Crassula ovata</i>												
Substrat	Vitalität				längster Trieb [cm]				Blattfestigkeit			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	2	2	2	2,0	11	10	10	10,3	2	2	1	1,7
C 0/12	3	2	2	2,3	9	11	12	10,7	1	1	1	1,0
C 3/12	3	4	2	2,5	11	10	14	12,5	1	3	1	1,0
C 2/4	2	2	2	2,0	10	12	12	11,3	1	1	1	1,0
S	3	2	2	2,3	11	10	12	11,0	2	1	1	1,3
B	3	2	2	2,3	10	11	13	11,3	1	1	1	1,0
E	4,5	3	1	2,8	5	8	12	8,3	3	3	1	2,3

Tab.100. Boniturprotokoll von *Crassula ovata* am 25.10.2012.

Boniturprotokoll												
Datum: 05.12.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Crassula ovata</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Blattfestigkeit			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	2	3	2	2,3	12	10	10	10,7	2	2	1	1,7
C 0/12	2	2	2	2,0	11	11	14	12,0	2	1	2	1,7
C 3/12	2	4	2	2,0	10	11	10	10,0	1	3	1	1,0
C 2/4	1	2	2	1,7	11	12	12	11,7	1	1	2	1,3
S	2	2	2	2,0	11	11	13	11,7	2	2	2	2,0
B	3	3	1	2,3	10	11	15	12,0	2	1	1	1,3
E	4	4	1	3,0	5	10	12	9,0	3	3	2	2,7

Tab.101. Boniturprotokoll von *Crassula ovata* am 05.12.2012.

Boniturprotokoll												
Datum: 08.01.2013												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Crassula ovata</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Blattfestigkeit			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	2	2	3	2,3	12	11	11	11,3	1	2	2	1,7
C 0/12	2	3	2	2,3	11	11	11	11,0	2	1	1	1,3
C 3/12	3	5	2	2,5	12	11	14	13,0	1	3	1	1,0
C 2/4	1	2	2	1,7	13	12	12	12,3	1	1	2	1,3
S	2	2	3	2,3	12	11	12	11,7	1	2	2	1,7
B	3	2	1	2,0	10	13	15	12,7	2	1	1	1,3
E	4	4	1	3,0	5	10	13	9,3	3	3	1	2,3

Tab.102. Boniturprotokoll von *Crassula ovata* am 08.01.2013.

Boniturprotokoll												
Datum: 13.02.2013												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Crassula ovata</i>												
Substrat	Vitalität				Wuchslänge [cm]				Blattfestigkeit			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
1	2	3	1		2	3	1		2	3		
C 0/3	2	3	3	2,7	12	11	11	11,3	3	2	2	2,3
C 0/12	2	2	2	2,0	12	11	12	11,7	2	1	2	1,7
C 3/12	3	5	2	2,5	12	11	14	13,0	1	3	1	1,0
C 2/4	1	2	2	1,7	13	13	12	12,7	1	2	1	1,3
S	2	3	3	2,7	12	11	11	11,3	2	2	2	2,0
B	2	2	1	1,7	11	13	15	13,0	2	1	1	1,3
E	4	4	1	3,0	5	10	13	9,3	3	3	3	3,0

Tab.103. Boniturprotokoll von *Crassula ovata* am 13.02.2013.

Boniturprotokoll												
Datum: 29.04.2013												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Pitha, Zluwa												
<i>Crassula ovata</i>												
Substrat	Vitalität				längster Trieb [cm]				Blattfestigkeit			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
1	2	3	1		2	3	1		2	3		
C 0/3	5		4	4,5					3		3	3,0
C 0/12	4		4	4					3		3	3,0
C 3/12	3		2	2,5					2		1	1,5
C 2/4	2		3	2,5					1		2	1,5
S	3		2	2,5					2		2	2,0
B	4		2	3					3		2	2,5
E	1		4	2,5					1		2	1,5

Tab.104. Boniturprotokoll (Nachbonitur) von *Crassula ovata* am 29.04.2013.

13.2.3. Boniturprotokolle von *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc'

Boniturprotokoll												
Datum: 26.09.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Spatiphyllum</i> sp. 'Mont Blanc'												
Substrat	Vitalität				längster Trieb [cm]				Infloreszenz			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	5	5	3	4	36	34	37	36			x	1/3
C 0/12	4	4	4	4	35	37	40	37				0/3
C 3/12	5	3	3	4	35	38	35	36	x			1/3
C 2/4	4	5	3	4	35	37	42	38				0/3
S	4	5	4	4	38	30	39	36				0/3
B	2	3	2	2	38	38	41	39				0/3
E	4	5	4	4	35	33	38	35			x	1/3

Tab.105. Boniturprotokoll von *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc' am 06.09.2012.

Boniturprotokoll												
Datum: 25.10.2012												
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB												
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa												
<i>Spatiphyllum</i> sp. 'Mont Blanc'												
Substrat	Vitalität				längster Trieb [cm]				Infloreszenz			
	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø	Pflanze			Ø
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C 0/3	4	5	4	4	8	5	17	10				0/3
C 0/12	4,5	4,5	5	5	10	12	6	9				0/3
C 3/12	4,5	3	3	4	7	12	40	20				0/3
C 2/4	4,5	4,5	4	4	12	10	23	15				0/3
S	4,5	4,5	4	4	8	9	13	10				0/3
B	3	3	2	3	37	38	41	39				0/3
E	4,5	4,5	4,5	5	9	9	18	12				0/3

Tab.106. Boniturprotokoll von *Spatiphyllum* sp. 'Mont Blanc' am 25.10.2012.

13.2.4. Boniturprotokolle von *Cyperus alternifolius*

Boniturprotokoll								
Datum: 05.12.2012								
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB								
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa								
<i>Cyperus alternifolius</i>								
Substrat	Vitalität				längster Trieb [cm]			
	Pflanze			∅	Pflanze			∅
	1	2	3		1	2	3	
C 0/3	4	2	3	3	23	24	20	22
C 0/12	2	3	2	2	26	24	23	24
C 3/12	3	2	2	2	25	24	25	25
C 2/4	4	3	4	4	20	20	20	20
S	3	2	2	2	28	22	26	25
B	2	3	2	2	27	24	27	26
E	3	3	4	3	26	25	22	24

Tab.107. Boniturprotokoll von *Cyperus alternifolius* am 05.12.2012.

Vitalität von C am 5.
Substrat
C 0/3
C 0/12
C 3/12
C 2/4
S
B
E

Boniturprotokoll								
Datum: 08.01.2013								
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB								
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa								
<i>Cyperus alternifolius</i>								
Substrat	Vitalität				längster Trieb [cm]			
	Pflanze			∅	Pflanze			∅
	1	2	3		1	2	3	
C 0/3	4	2	4	3	22	25	22	23
C 0/12	3	3	2	3	26	20	27	24
C 3/12	3	3	3	3	28	26	21	25
C 2/4	3	2	2	2	26	26	25	26
S	4	3	2	3	28	27	27	27
B	3	3	4	3	26	25	20	24
E	2	3	2	2	30	24	25	26

Tab.108. Boniturprotokoll von *Cyperus alternifolius* am 08.01.2013.

Vitalität von C am 8.
Substrat
C 0/3
C 0/12
C 3/12
C 2/4
S
B
E

Boniturprotokoll								
Datum: 13.02.2013								
Standort: Peter Jordan Straße 82, IBLB								
BearbeiterIn: Scharf, Zluwa								
<i>Cyperus alternifolius</i>								
Substrat	Vitalität				längster Trieb [cm]			
	Pflanze			∅	Pflanze			∅
	1	2	3		1	2	3	
C 0/3	4	1	4	3	22	26	22	23
C 0/12	3	3	1	2	26	25	27	26
C 3/12	2	2	2	2	28	24	21	24
C 2/4	2	1	2	2	26	28	25	26
S	3	3	2	3	26	24	28	26
B	2	2	4	3	24	23	19	22
E	2	4	2	3	28	22	26	25

Tab.109. Boniturprotokoll von *Cyperus alternifolius* am 13.02.2013.

Vitalität von C am 13
Substrat
C 0/3
C 0/12
C 3/12
C 2/4
S
B
E

13.3. Aufnahmeprotokolle Biomasse

13.3.1. Aufnahmeprotokolle Biomasse der Referenzpflanzen von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Aufnahmeprotokoll Biomasse [g] von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i> (Referenzpflanzen)					
frisch: Datum: 12.09.2012		Pflanze			Ø
		1	2	3	
	Gesamt	244,76	298	318,8	287,2
	Oberirdische Pflanzenteile	124,8	202,5	218,7	182,0
	Unterirdische Pflanzenteile	119,96	95,5	100,1	105,2
	Blattmasse	115,222	190,7	213,3	173,1
	restl. oberird. Pflanzenteile	9,578	11,8	5,4	8,9
	10 repräsentative Blätter	19,071	19,5	16,3	18,3
trocken: Datum: 22.09.2012					
	Gesamt	38,412	28,028	31,325	32,588
	Oberirdische Pflanzenteile	17,358	14,367	16,75	16,158
	Unterirdische Pflanzenteile	21,054	13,661	14,575	16,430
	Blattmasse	18,779	11,875	15,079	15,244
	restl. oberird. Pflanzenteile	1,036	0,997	0,467	0,833
	10 repräsentative Blätter	1,297	1,495	1,204	1,332

Biomasse (frisch) von *Chlorophytum sp.* (Referenzpflanzen)

Masse [g]

Masse von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 12.09.2012

durchschnittliche Biomasse (frisch) von *Chlorophytum sp.* am 12.09.2012

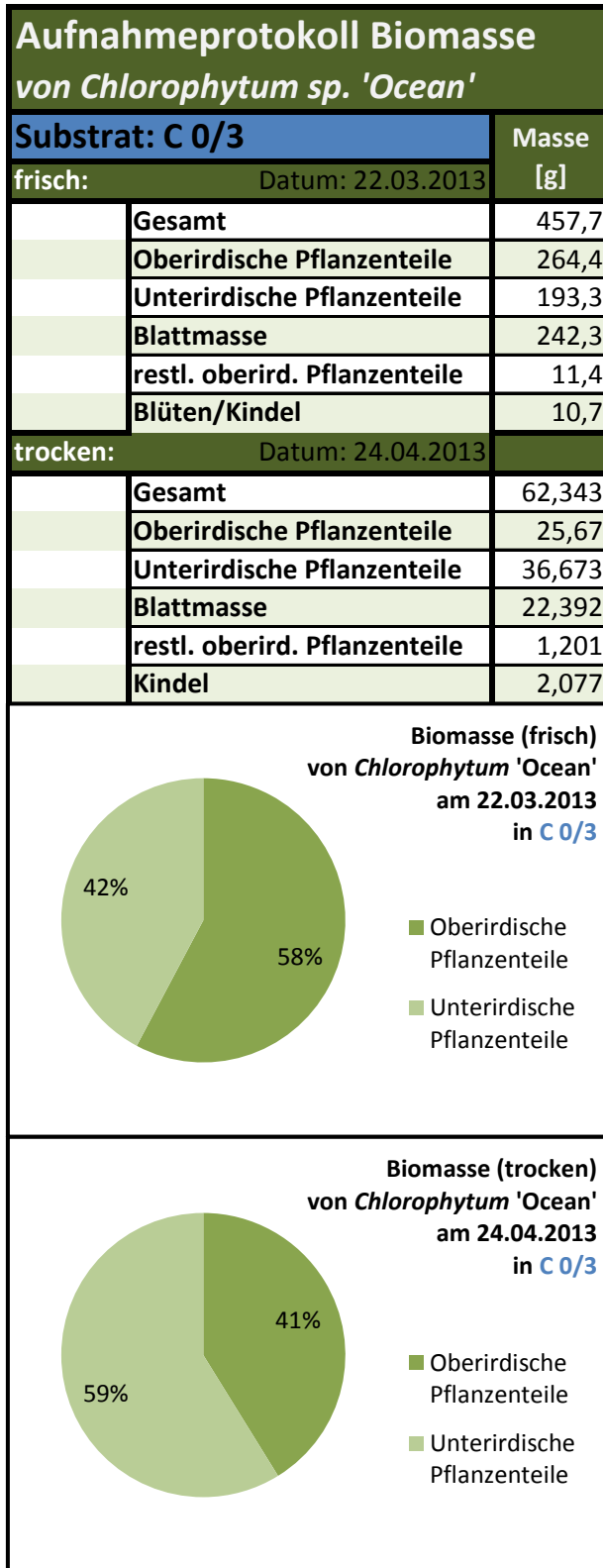
- Oberirdische Pflanzenteile (63%)
- Unterirdische Pflanzenteile (37%)

durchschnittliche Biomasse (trocken) von *Chlorophytum sp.* am 22.09.2012

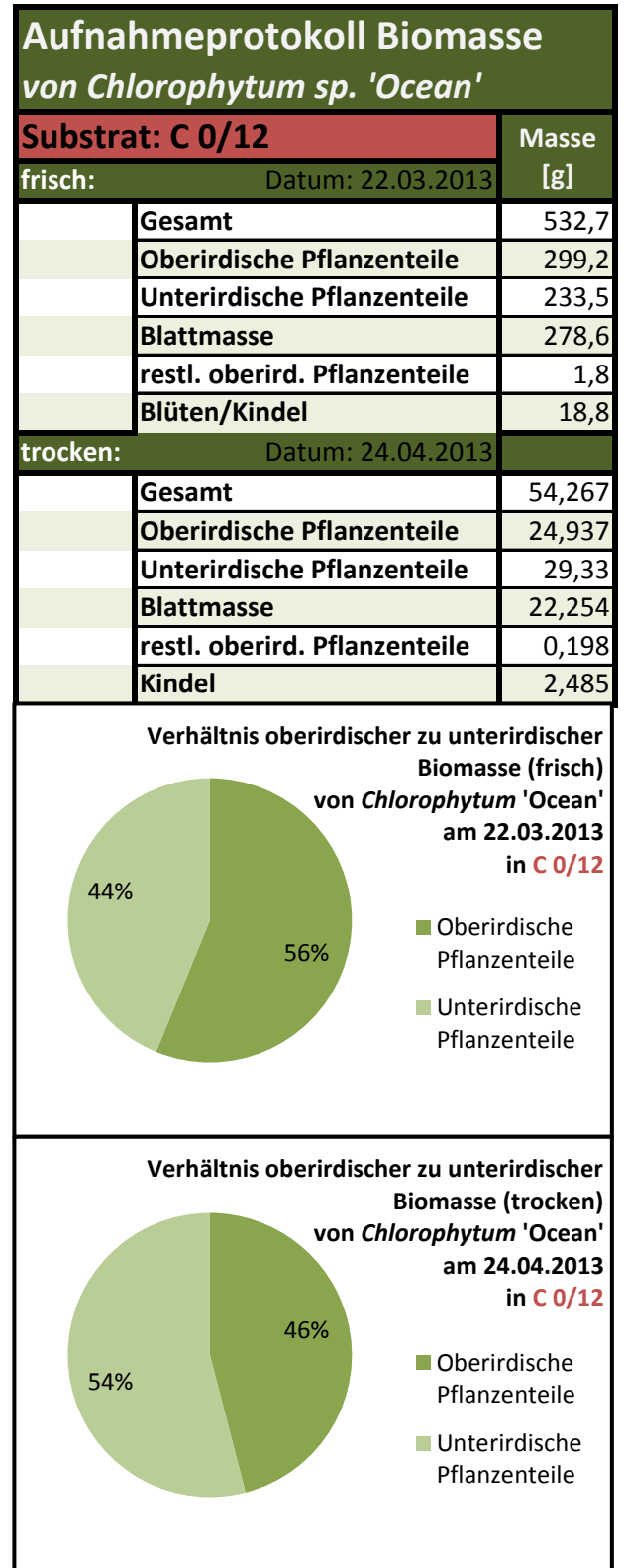
- Oberirdische Pflanzenteile (50%)
- Unterirdische Pflanzenteile (50%)

Tab.110. Aufnahmeprotokoll Biomasse der Referenzpflanzen von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* am 12.09.2012.

13.3.2. Aufnahmeprotokolle Biomasse bei Endabnahme von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

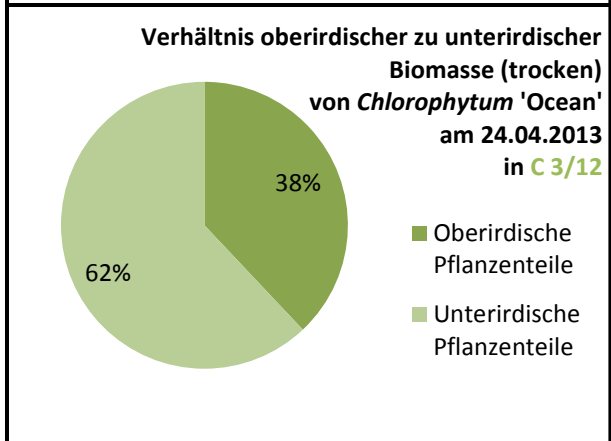
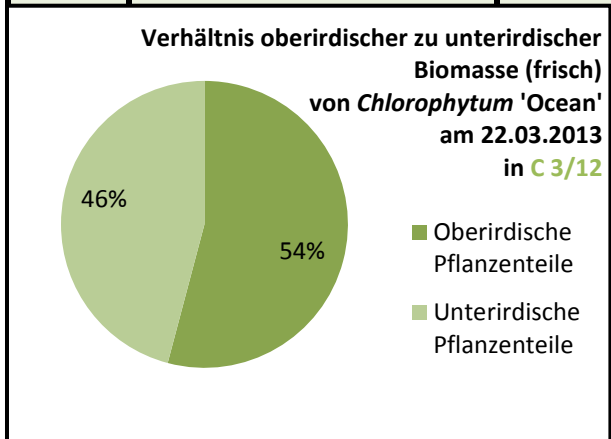


Tab.111. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* in C 0/3.



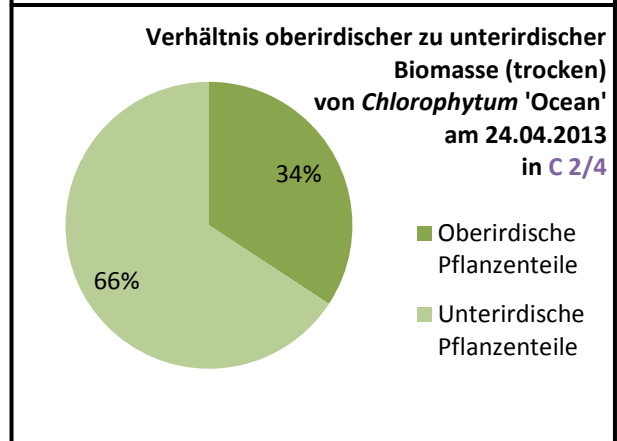
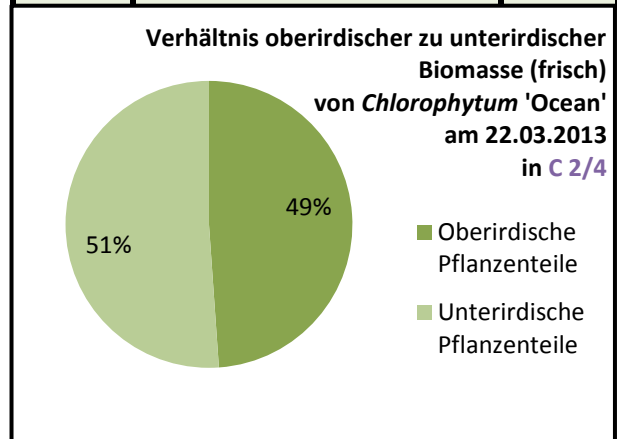
Tab.112. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* in C 0/12.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>		
Substrat: C 3/12		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	554,1
	Oberirdische Pflanzenteile	299,9
	Unterirdische Pflanzenteile	254,2
	Blattmasse	266,6
	restl. oberird. Pflanzenteile	27,8
	Blüten/Kindel	5,5
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	64,379
	Oberirdische Pflanzenteile	24,443
	Unterirdische Pflanzenteile	39,936
	Blattmasse	19,88
	restl. oberird. Pflanzenteile	0,503
	Kindel	4,060

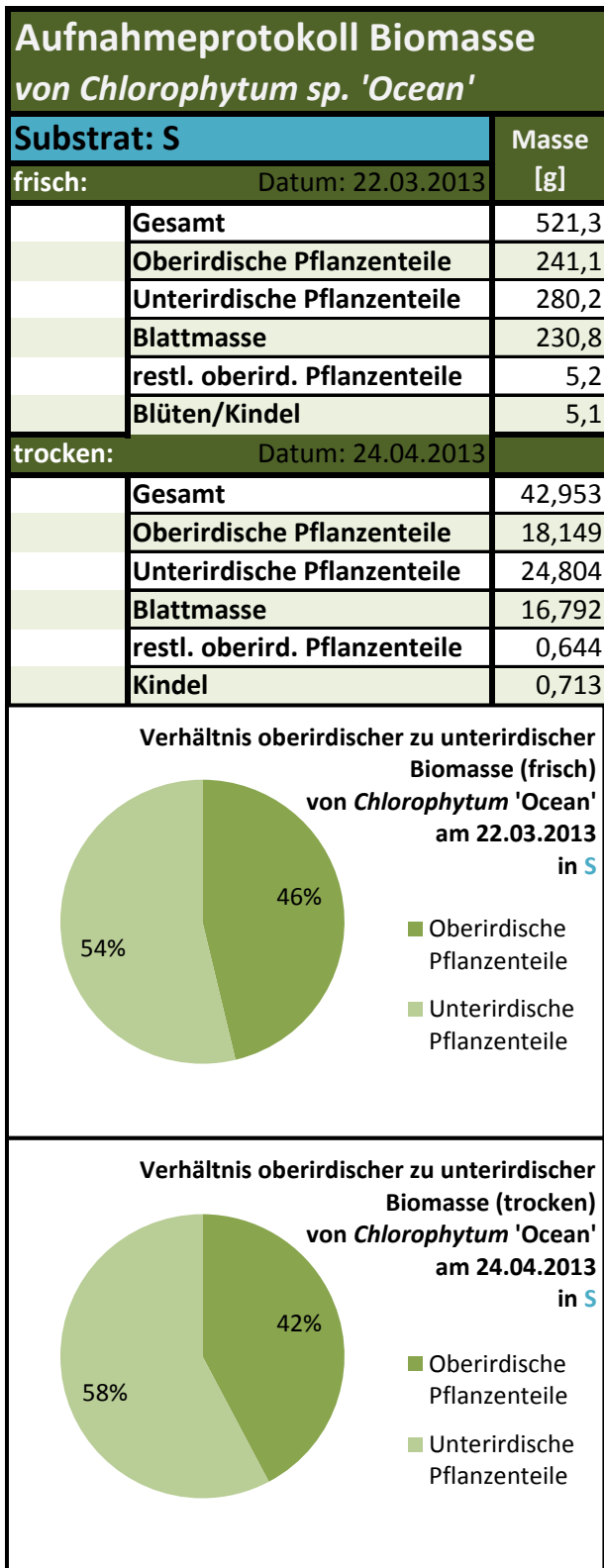


Tab.113. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* in C 3/12.

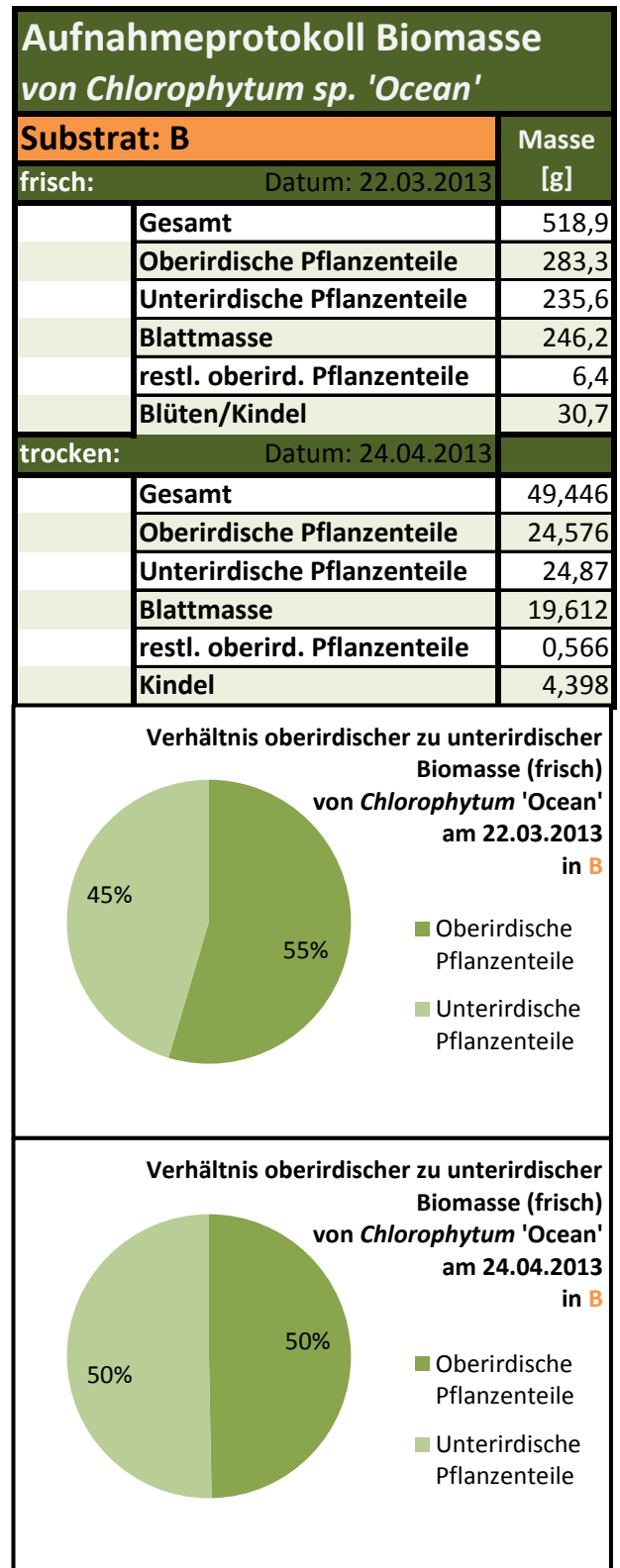
Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>		
Substrat: C 2/4)		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	672,9
	Oberirdische Pflanzenteile	329
	Unterirdische Pflanzenteile	343,9
	Blattmasse	282,7
	restl. oberird. Pflanzenteile	21
	Blüten/Kindel	25,3
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	67,500
	Oberirdische Pflanzenteile	23,108
	Unterirdische Pflanzenteile	44,392
	Blattmasse	16,905
	restl. oberird. Pflanzenteile	2,554
	Kindel	3,649



Tab.114. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* in C 2/4.



Tab.115. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* in S.



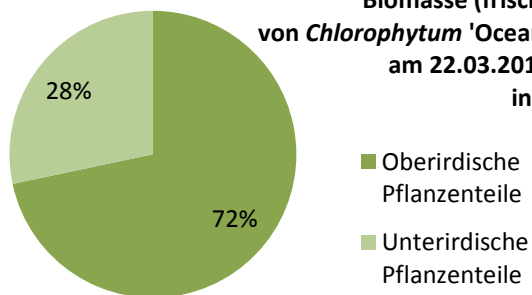
Tab.116. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* in B.

Aufnahmeprotokoll Biomasse

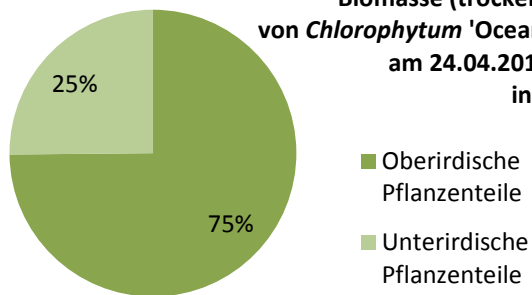
von *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Substrat: E		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	820,5
	Oberirdische Pflanzenteile	588,2
	Unterirdische Pflanzenteile	232,3
	Blattmasse	517,8
	restl. oberird. Pflanzenteile	29,5
	Blüten/Kindel	40,9
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	61,570
	Oberirdische Pflanzenteile	46,085
	Unterirdische Pflanzenteile	15,485
	Blattmasse	38,959
	restl. oberird. Pflanzenteile	2,381
	Kindel	4,745

Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (frisch)
von *Chlorophytum 'Ocean'*
am 22.03.2013
in E

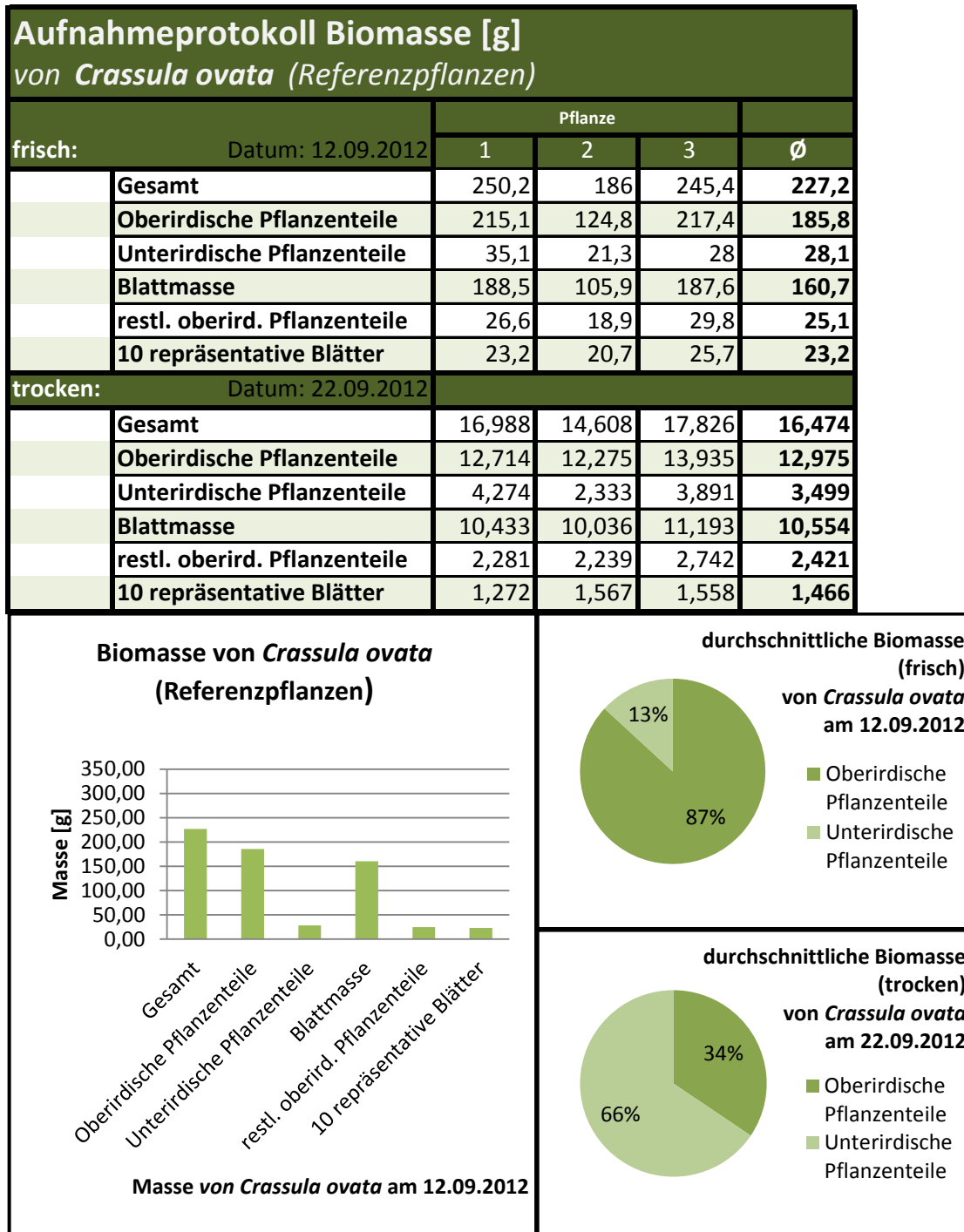


Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (trocken)
von *Chlorophytum 'Ocean'*
am 24.04.2013
in E



Tab.117. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Chlorophytum sp. 'Ocean'* in E.

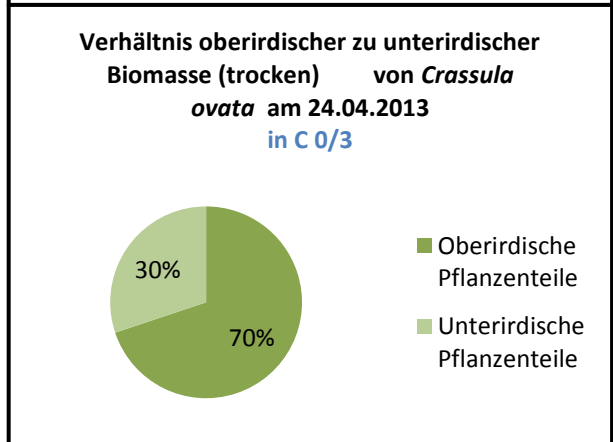
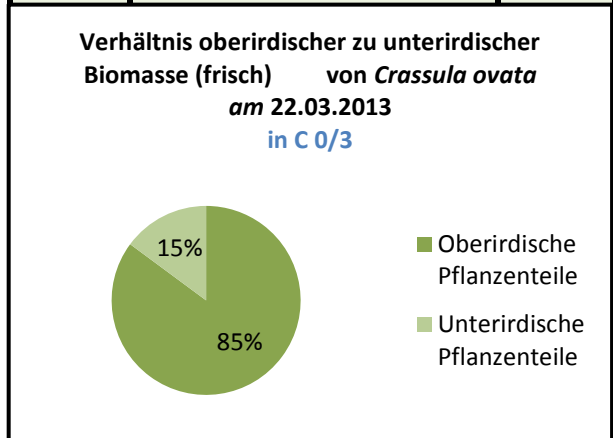
13.3.3. Aufnahmeprotokolle Biomasse der Referenzpflanzen von *Crassula ovata*



Tab.118. Aufnahmeprotokoll Biomasse der Referenzpflanzen von *Crassula ovata* am 12.09.2012.

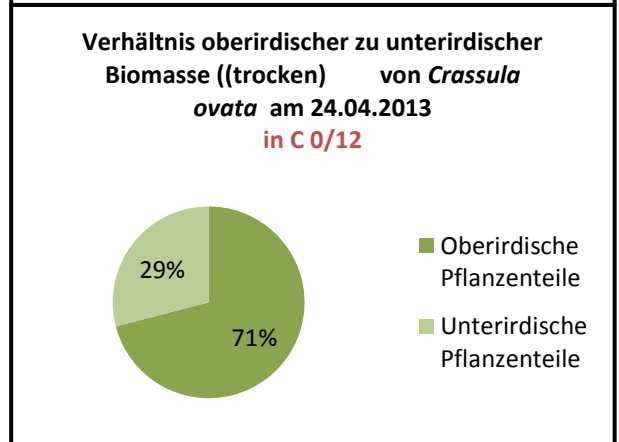
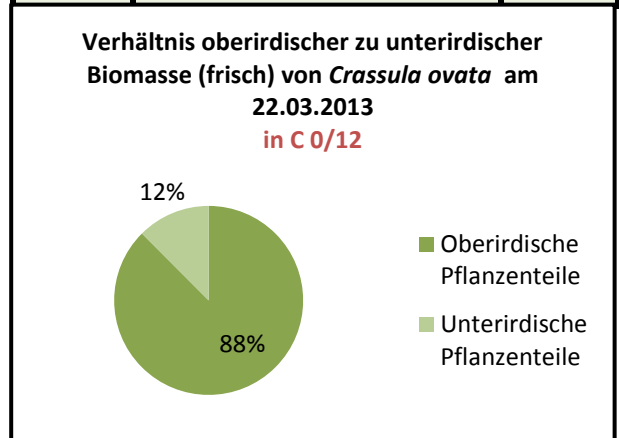
13.3.4. Aufnahmeprotokolle Biomasse bei Endabnahme von *Crassula ovata*

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Crassula ovata</i>		
Substrat: C 0/3		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	271,8
	Oberirdische Pflanzenteile	231,4
	Unterirdische Pflanzenteile	40,4
	Blattmasse	199,1
	restl. oberird. Pflanzenteile	32,3
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	22,007
	Oberirdische Pflanzenteile	15,377
	Unterirdische Pflanzenteile	6,630
	Blattmasse	12,277
	restl. oberird. Pflanzenteile	3,100



Tab.119. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Crassula ovata* in C 0/3.

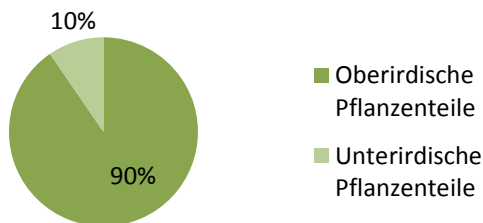
Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Crassula ovata</i>		
Substrat: C 0/12		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	270,9
	Oberirdische Pflanzenteile	237,1
	Unterirdische Pflanzenteile	33,8
	Blattmasse	202,2
	restl. oberird. Pflanzenteile	34,9
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	20,819
	Oberirdische Pflanzenteile	14,772
	Unterirdische Pflanzenteile	6,047
	Blattmasse	11,461
	restl. oberird. Pflanzenteile	3,311



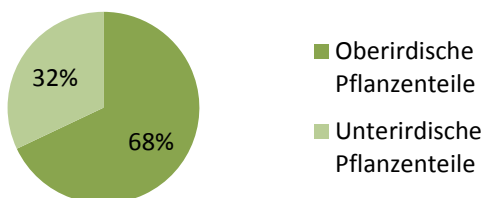
Tab.120. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Crassula ovata* in C 0/12.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Crassula ovata</i>		
Substrat: C 3/12		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	248,6
	Oberirdische Pflanzenteile	224,58
	Unterirdische Pflanzenteile	23,76
	Blattmasse	195,55
	restl. oberird. Pflanzenteile	29,03
trocken: Datum: 24.04.2013		
	Gesamt	19,509
	Oberirdische Pflanzenteile	13,259
	Unterirdische Pflanzenteile	6,250
	Blattmasse	9,987
	restl. oberird. Pflanzenteile	3,272

Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (frisch) von *Crassula ovata* am 22.03.2013 in C 3/12



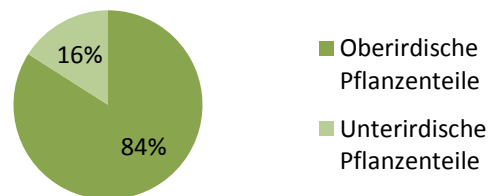
Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (trocken) von *Crassula ovata* am 24.04.2013 in C 3/12



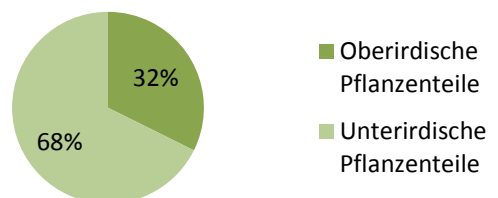
Tab.121. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Crassula ovata* in C 3/12.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Crassula ovata</i>		
Substrat: C 2/4)		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	321,6
	Oberirdische Pflanzenteile	270,2
	Unterirdische Pflanzenteile	51,4
	Blattmasse	236,7
	restl. oberird. Pflanzenteile	33,5
trocken: Datum: 24.04.2013		
	Gesamt	19,170
	Oberirdische Pflanzenteile	6,198
	Unterirdische Pflanzenteile	12,972
	Blattmasse	3,098
	restl. oberird. Pflanzenteile	3,100

Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (frisch) von *Crassula ovata* am 22.03.2013 in C 2/4



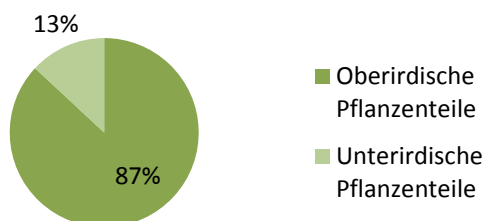
Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (trocken) von *Crassula ovata* am 24.04.2013 in C 2/4



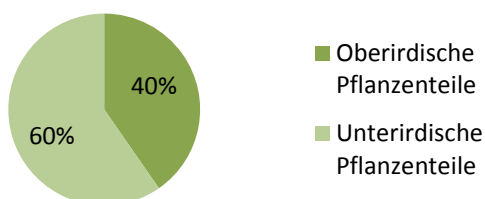
Tab.122. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Crassula ovata* in C 2/4.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Crassula ovata</i>		
Substrat: S		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	329,8
	Oberirdische Pflanzenteile	286,7
	Unterirdische Pflanzenteile	43,1
	Blattmasse	250,9
	restl. oberird. Pflanzenteile	35,8
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	9,783
	Oberirdische Pflanzenteile	3,946
	Unterirdische Pflanzenteile	5,837
	Blattmasse	0,585
	restl. oberird. Pflanzenteile	3,361

Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (frisch) von *Crassula ovata* am 22.03.2013
in S



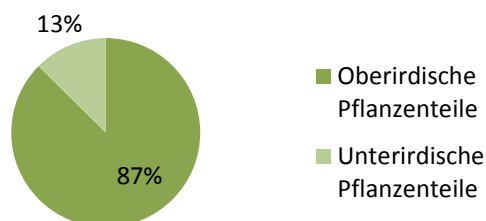
Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (trocken) von *Crassula ovata* am 24.04.2013
in S



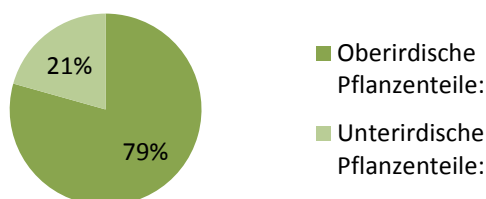
Tab.123. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Crassula ovata* in S.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Crassula ovata</i>		
Substrat: B		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	311,2
	Oberirdische Pflanzenteile	272,0
	Unterirdische Pflanzenteile	39,2
	Blattmasse	235,0
	restl. oberird. Pflanzenteile	37,0
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt:	20,269
	Oberirdische Pflanzenteile:	16,084
	Unterirdische Pflanzenteile:	4,185
	Blattmasse:	12,458
	restl. oberird. Pflanzenteile:	3,626

Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (frisch) von *Crassula ovata* am 22.03.2013
in B



Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (trocken) von *Crassula ovata* am 24.04.2013
in B



Tab.124. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Crassula ovata* in B.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Crassula ovata</i>		
Substrat: E		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	255,4
	Oberirdische Pflanzenteile	235,0
	Unterirdische Pflanzenteile	20,4
	Blattmasse	218,0
	restl. oberird. Pflanzenteile	17,0
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	14,274
	Oberirdische Pflanzenteile	12,371
	Unterirdische Pflanzenteile	1,903
	Blattmasse	11,046
	restl. oberird. Pflanzenteile	1,325
	abgestorbene Wurzelmasse	1,550

Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (frisch) von *Crassula ovata* am 22.03.2013
in E

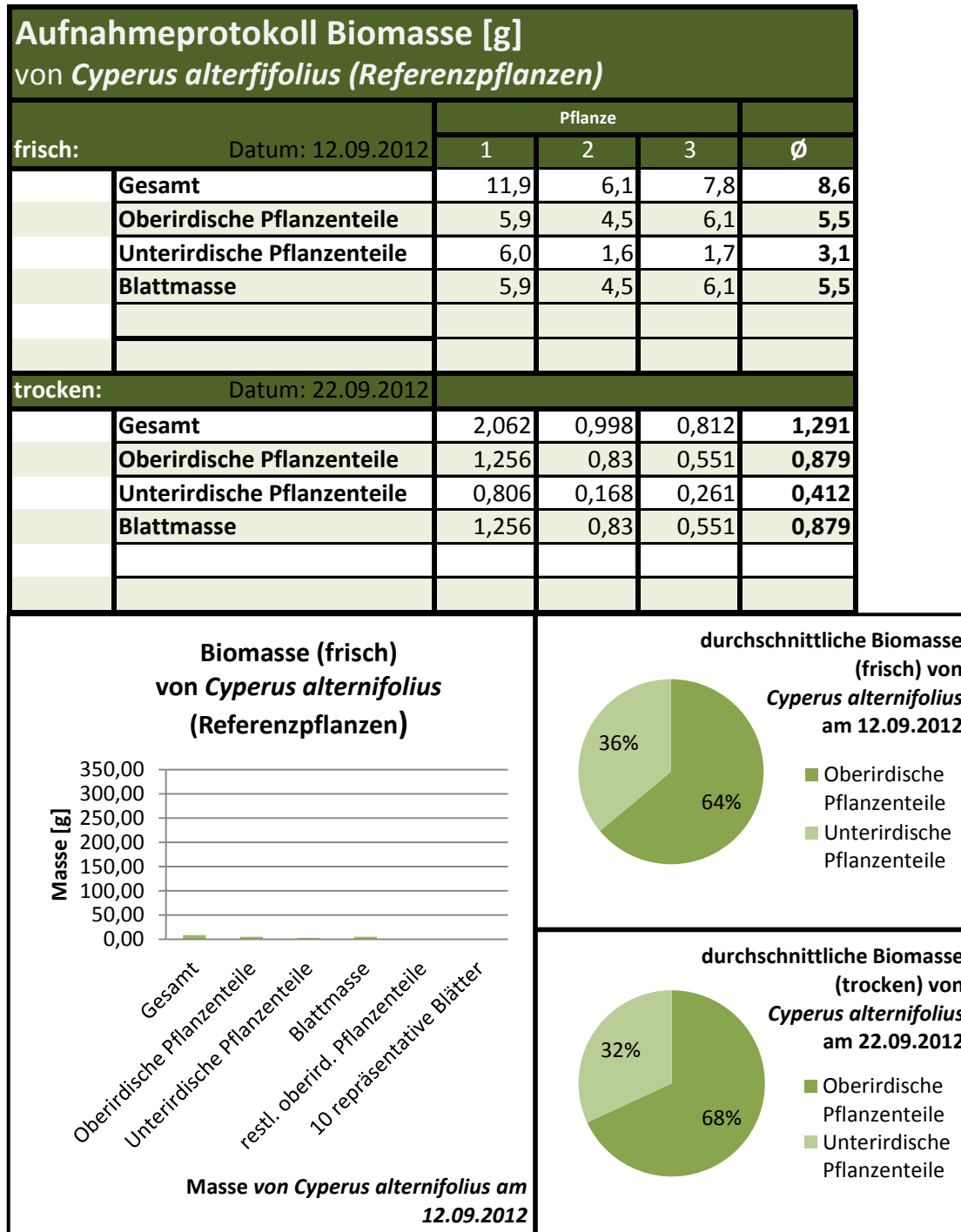
■	Oberirdische Pflanzenteile	92%
■	Unterirdische Pflanzenteile	8%

Verhältnis oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (trocken) von *Crassula ovata* am 24.04.2013
in E

■	Oberirdische Pflanzenteile	87%
■	Unterirdische Pflanzenteile	13%

Tab.125. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Crassula ovata* in E.

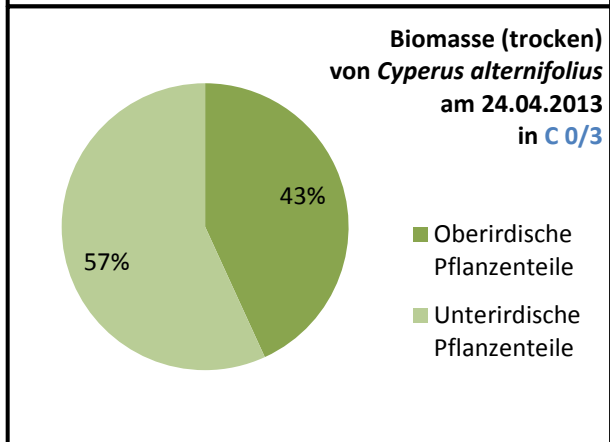
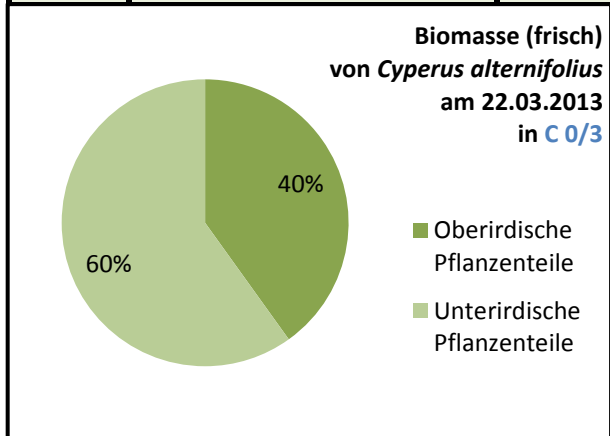
13.3.5. Aufnahmeprotokolle Biomasse der Referenzpflanzen von *Cyperus alternifolius*



Tab.126. Aufnahmeprotokoll Biomasse der Referenzpflanzen von *Cyperus alternifolius* am 12.09.2012.

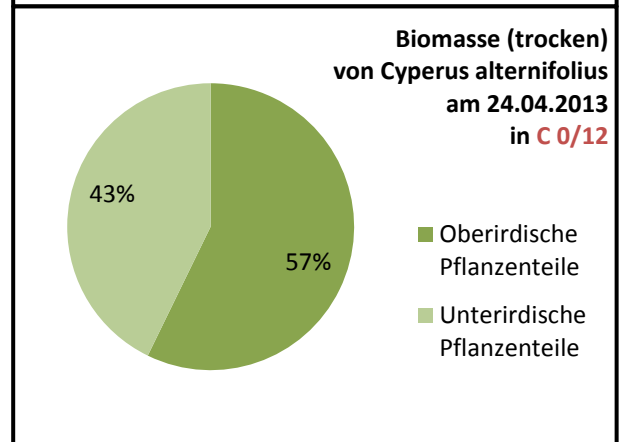
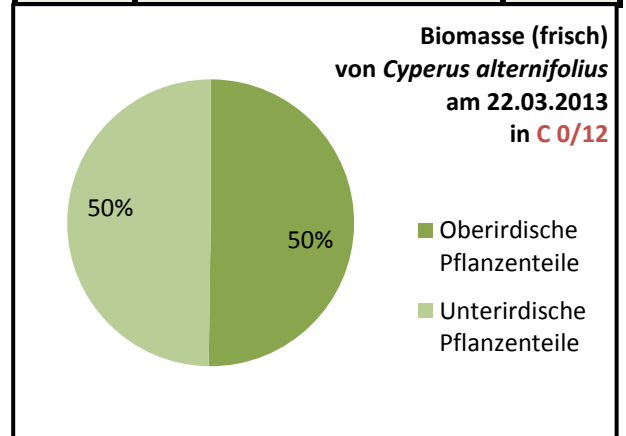
13.3.6. Aufnahmeprotokolle Biomasse bei Endabnahme von *Cyperus alternifolius*

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Cyperus alternifolius</i>		
Substrat: C 0/3		Masse
frisch: Datum: 22.03.2013		[g]
	Gesamt	46,4
	Oberirdische Pflanzenteile	18,6
	Unterirdische Pflanzenteile	27,8
	Blattmasse	18,6
	restl. oberird. Pflanzenteile	0
trocken: Datum: 24.04.2013		
	Gesamt	8,926
	Oberirdische Pflanzenteile	3,853
	Unterirdische Pflanzenteile	5,073
	Blattmasse	3,853
	restl. oberird. Pflanzenteile	



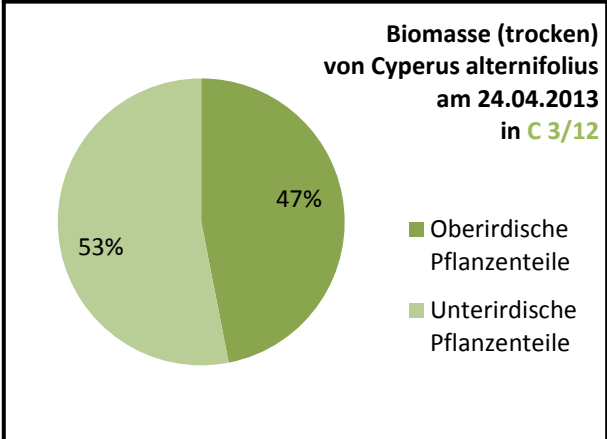
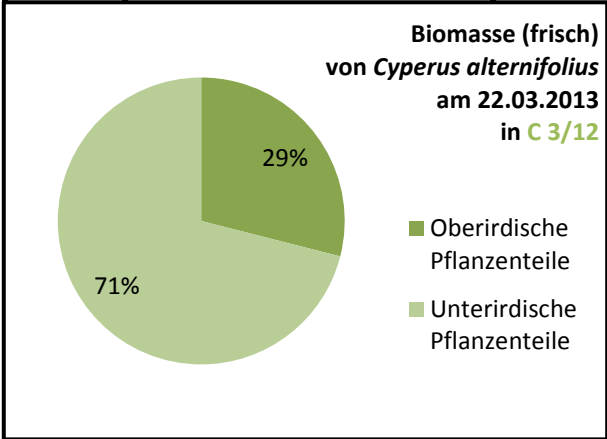
Tab.127. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Cyperus alternifolius* in C 0/3.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Cyperus alternifolius</i>		
Substrat: C 0/12		Masse
frisch: Datum: 22.03.2013		[g]
	Gesamt	23,7
	Oberirdische Pflanzenteile	11,9
	Unterirdische Pflanzenteile	11,8
	Blattmasse	11,9
	restl. oberird. Pflanzenteile	0
trocken: Datum: 24.04.2013		
	Gesamt	3,413
	Oberirdische Pflanzenteile	1,953
	Unterirdische Pflanzenteile	1,460
	Blattmasse	1,953
	restl. oberird. Pflanzenteile	



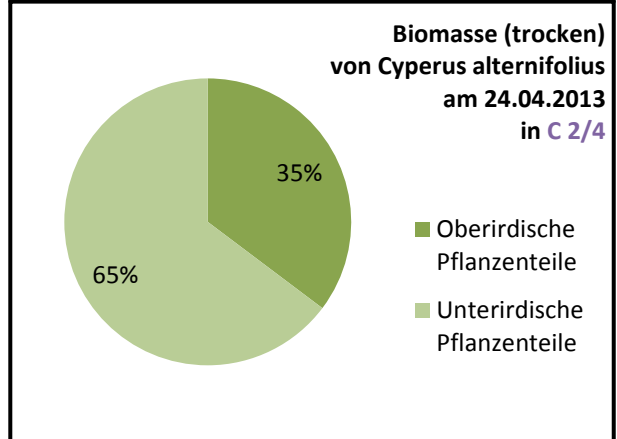
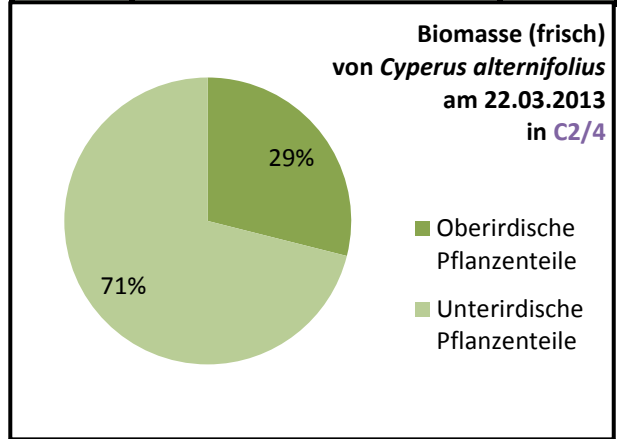
Tab.128. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Cyperus alternifolius* in C 0/12.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Cyperus alternifolius</i>		
Substrat: C 3/12		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	21,4
	Oberirdische Pflanzenteile	6,2
	Unterirdische Pflanzenteile	15,2
	Blattmasse	6,2
	restl. oberird. Pflanzenteile	0
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	2,930
	Oberirdische Pflanzenteile	1,375
	Unterirdische Pflanzenteile	1,555
	Blattmasse	1,375
	restl. oberird. Pflanzenteile	



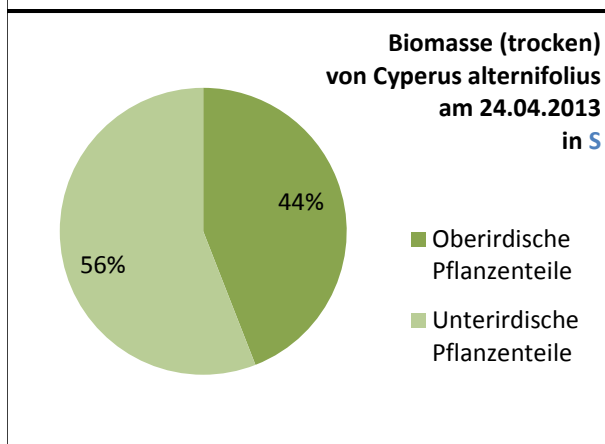
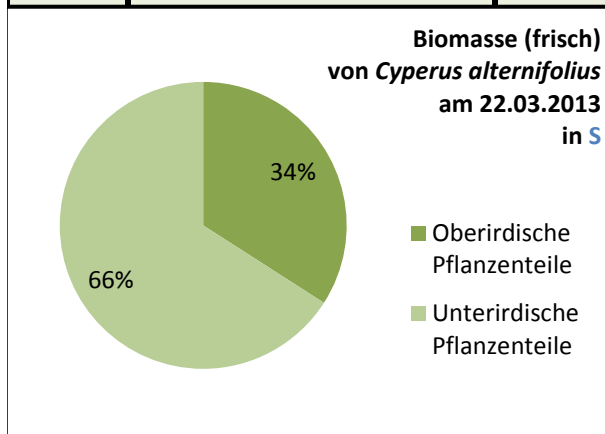
Tab.129. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Cyperus alternifolius* in C 3/12.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Cyperus alternifolius</i>		
Substrat: C 2/4)		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	56,7
	Oberirdische Pflanzenteile	16,4
	Unterirdische Pflanzenteile	40,3
	Blattmasse	16,4
	restl. oberird. Pflanzenteile	0
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	9,388
	Oberirdische Pflanzenteile	3,311
	Unterirdische Pflanzenteile	6,077
	Blattmasse	3,311
	restl. oberird. Pflanzenteile	



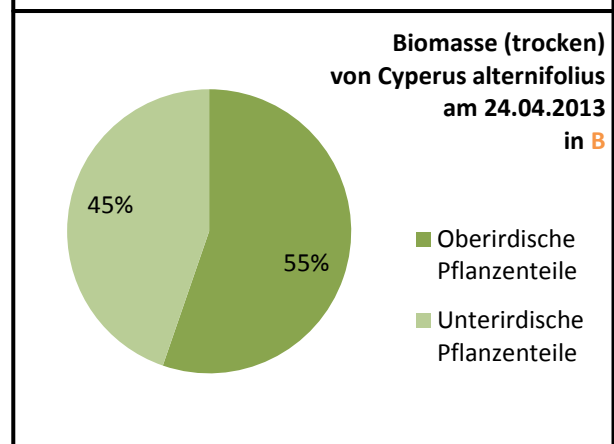
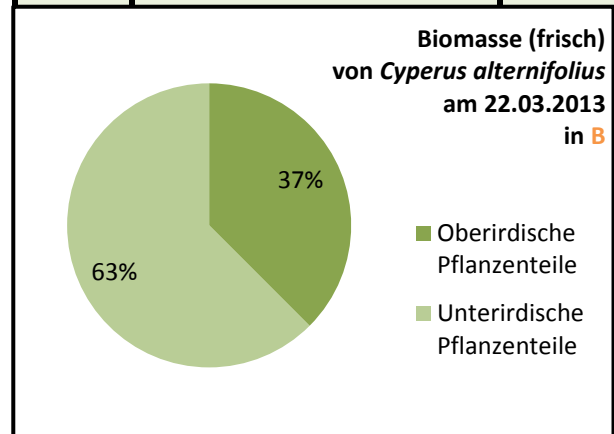
Tab.130. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Cyperus alternifolius* in C 2/4.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Cyperus alternifolius</i>		
Substrat: S		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	[g]
	Gesamt	17,9
	Oberirdische Pflanzenteile	6,1
	Unterirdische Pflanzenteile	11,8
	Blattmasse	6,1
	restl. oberird. Pflanzenteile	0
trocken:		Datum: 24.04.2013
	Gesamt	3,209
	Oberirdische Pflanzenteile	1,414
	Unterirdische Pflanzenteile	1,795
	Blattmasse	1,414
	restl. oberird. Pflanzenteile	



Tab.131. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Cyperus alternifolius* in S.

Aufnahmeprotokoll Biomasse von <i>Cyperus alternifolius</i>		
Substrat: B		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	(g):
	Gesamt	20,8
	Oberirdische Pflanzenteile	7,8
	Unterirdische Pflanzenteile	13
	Blattmasse	7,8
	restl. oberird. Pflanzenteile	0
trocken:		Datum: 24.04.2013
	Gesamt	3,053
	Oberirdische Pflanzenteile	1,688
	Unterirdische Pflanzenteile	1,365
	Blattmasse	1,688
	restl. oberird. Pflanzenteile	

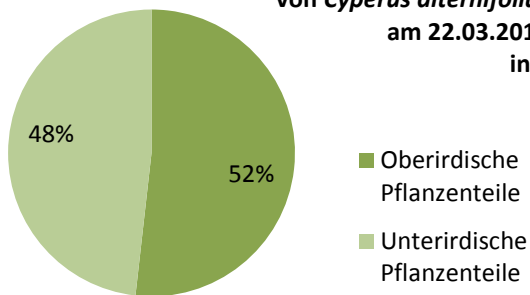


Tab.132. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Cyperus alternifolius* in B.

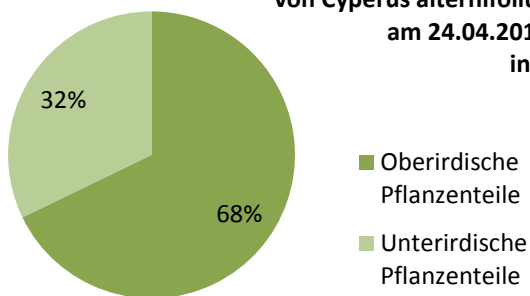
Aufnahmeprotokoll Biomasse von *Cyperus alternifolius*

Substrat: E		Masse
frisch:	Datum: 22.03.2013	(g):
	Gesamt	5,6
	Oberirdische Pflanzenteile	2,9
	Unterirdische Pflanzenteile	2,7
	Blattmasse	2,9
	restl. oberird. Pflanzenteile	0
trocken:	Datum: 24.04.2013	
	Gesamt	0,693
	Oberirdische Pflanzenteile	0,47
	Unterirdische Pflanzenteile	0,223
	Blattmasse	0,47
	restl. oberird. Pflanzenteile	

Biomasse (frisch)
von *Cyperus alternifolius*
am 22.03.2013
in E



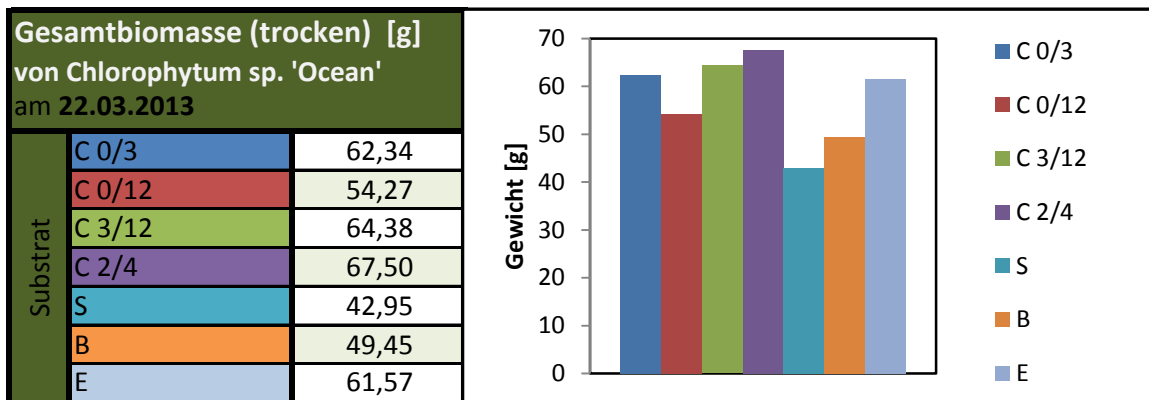
Biomasse (trocken)
von *Cyperus alternifolius*
am 24.04.2013
in E



Tab.133. Aufnahmeprotokoll Biomasse bei Endabnahme von *Cyperus alternifolius* in E.

13.4. Ergebnisse der Bestimmung der Biomasse in getrocknetem Zustand

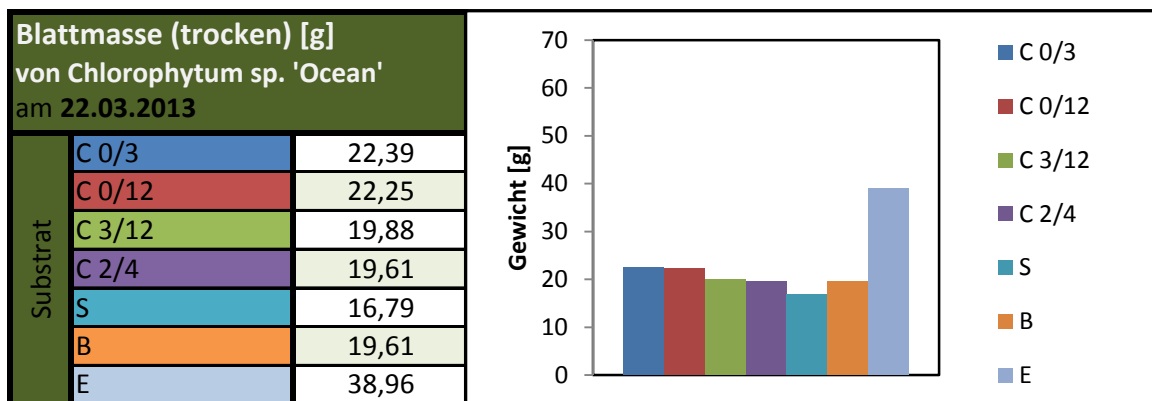
13.4.1. Ergebnisse der Bestimmung der Biomasse bei *Chlorophytum sp.* 'Ocean' in getrocknetem Zustand



Tab.134. Gesamtbiomasse trocken mit Diagramm von *Chlorophytum sp.* 'Ocean' am 22.03.2013.

Gesamtbiomasse (trocken) [g] von <i>Chlorophytum sp.</i> 'Ocean' (gereiht) 22.03.13			Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]
Substrat	C 2/4	67,50	10,36	100,0
	C 3/12	64,38	16,86	95,4
	C 0/3	62,34	21,68	92,4
	E	61,57	28,98	91,2
	C 0/12	54,27	29,75	80,4
	B	49,45	31,79	73,3
	S	42,95	34,91	63,6

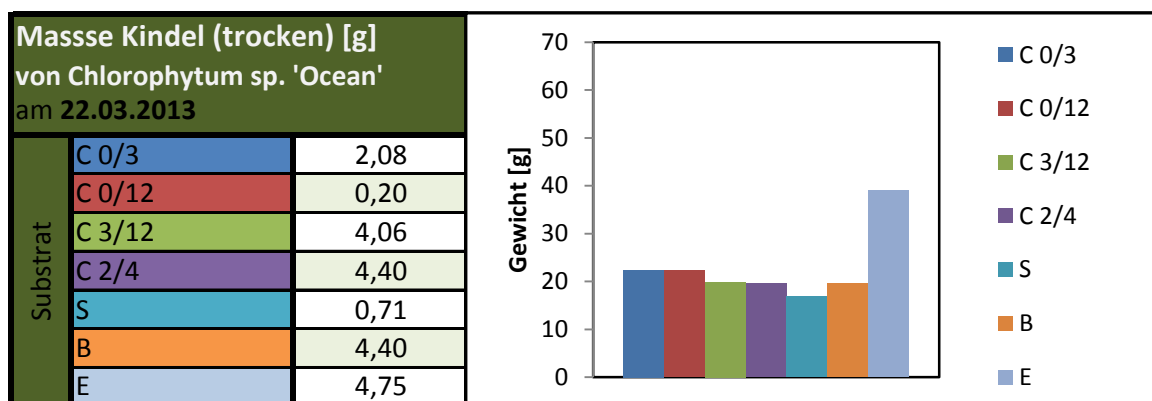
Tab.135. Gesamtbiomasse trocken (gereiht) von *Chlorophytum sp.* 'Ocean' am 22.03.2013.



Tab.136. Blattmasse trocken mit Diagramm von *Chlorophytum* sp. 'Ocean' am 22.03.2013.

Blattmasse (trocken) [g] von <i>Chlorophytum</i> sp. 'Ocean' (gereiht) 22.03.13			Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]
Substrat	E	38,96	23,71	100,0
	C 0/3	22,39	7,15	30,1
	C 0/12	22,25	7,01	29,6
	C 3/12	19,88	4,64	19,5
	C 2/4	19,61	4,37	18,4
	B	19,61	4,37	18,4
	S	16,79	1,55	6,5

Tab.137. Blattmasse trocken (gereiht) von *Chlorophytum* sp. 'Ocean' am 22.03.2013.

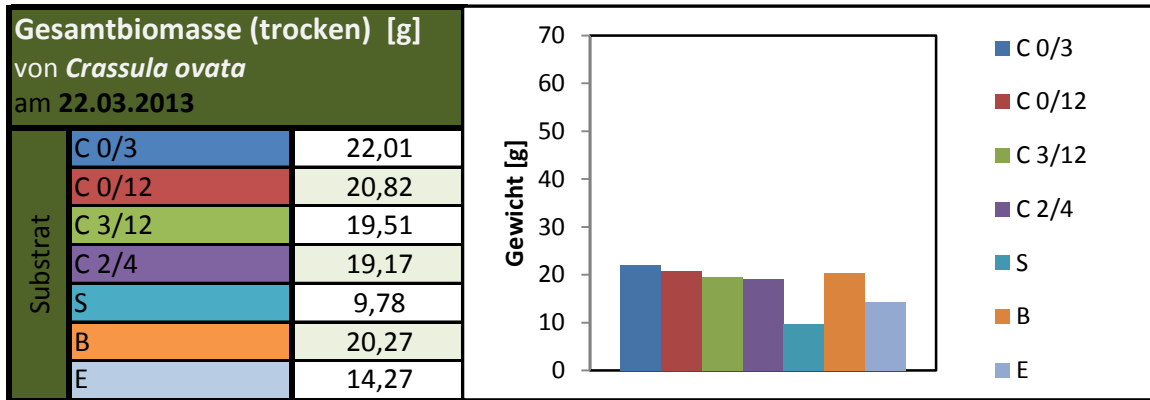


Tab.138. Masse der Kindel trocken mit Diagramm von *Chlorophytum* sp. 'Ocean' am 22.03.2013.

Masse Kindel (trocken) [g] von <i>Chlorophytum</i> sp. 'Ocean' (gereiht) 22.03.13			[%]
Substrat	E	4,75	100,0
	C 2/4	4,40	92,7
	B	4,40	92,7
	C 3/12	4,06	85,6
	C 0/3	2,08	43,8
	S	0,71	15,0
	C 0/12	0,20	4,2

Tab.139. Masse der Kindel trocken (gereiht) von *Chlorophytum* sp. 'Ocean' am 22.03.2013.

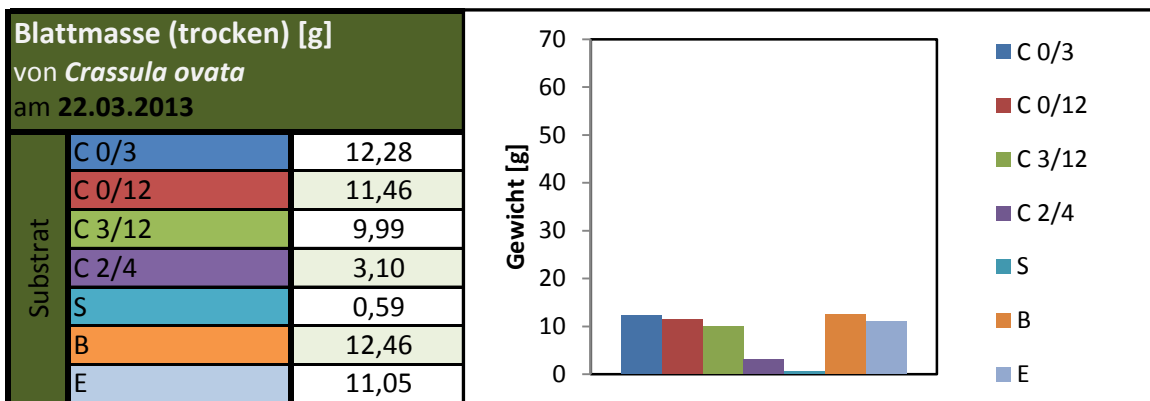
13.4.2. Ergebnisse der Bestimmung der Biomasse bei *Crassula ovata* in getrocknetem Zustand



Tab.140. Gesamtbiomasse trocken mit Diagramm von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

Gesamtbiomasse (trocken) [g] von <i>Crassula ovata</i> (gereiht) 22.03.13			Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]
Substrat	C 0/3	22,01	5,53	100,0
	C 0/12	20,82	4,35	78,5
	B	20,27	3,80	68,6
	C 3/12	19,51	3,04	54,9
	C 2/4	19,17	2,70	48,7
	E	14,27	-2,20	-39,8
	S	9,78	-6,69	-120,9

Tab.141. Gesamtbiomasse trocken (gereiht) von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

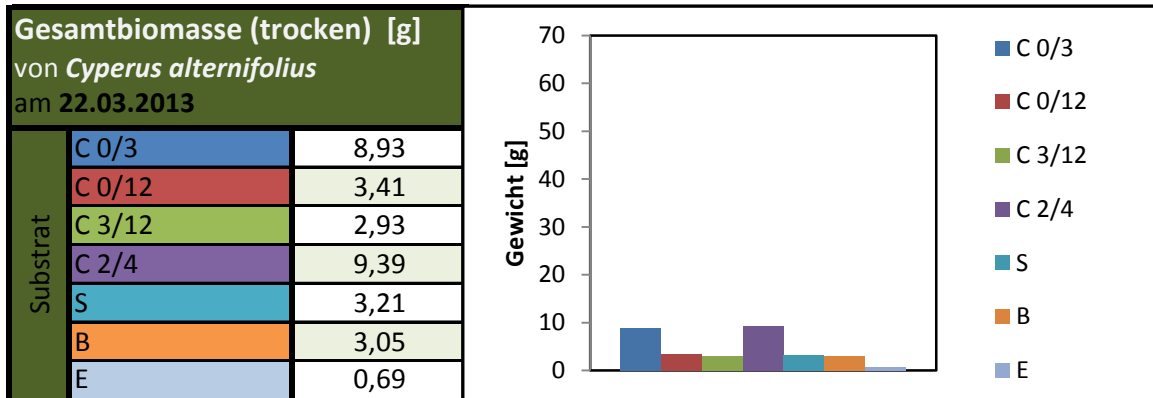


Tab.142. Blattmasse trocken mit Diagramm von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

Blattmasse (trocken) [g] von <i>Crassula ovata</i> (gereiht) 22.03.13			Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]
Substrat	B	12,46	1,90	100,0
	C 0/3	12,28	1,72	98,1
	C 0/12	11,46	0,91	89,7
	E	11,05	0,49	85,5
	C 3/12	9,99	-0,57	74,6
	C 2/4	3,10	-7,46	3,6
	S	0,59	-9,97	-22,3

Tab.143. Blattmasse trocken (gereiht) von *Crassula ovata* am 22.03.2013.

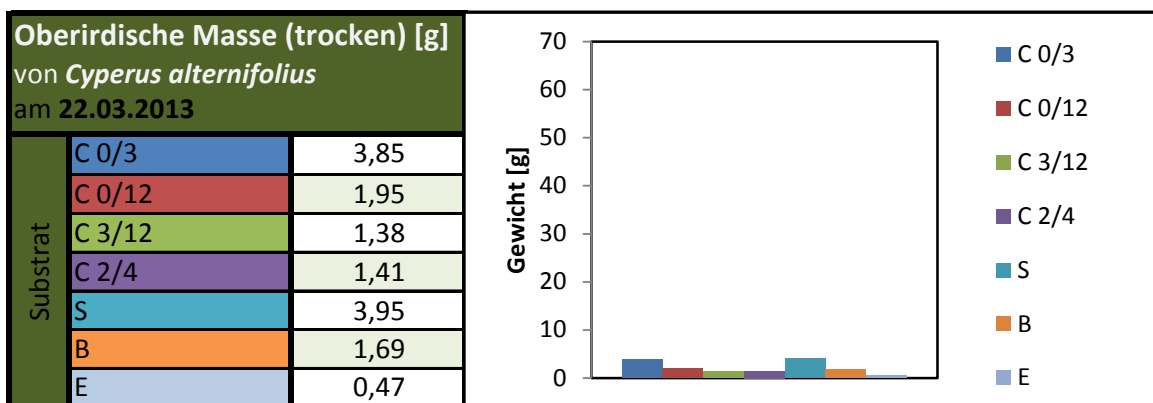
13.4.3. Ergebnisse der Bestimmung der Biomasse bei *Cyperus alternifolius* in getrocknetem Zustand



Tab.144. Gesamtbiomasse (trocken) mit Diagramm von *Cyperus alternifolius* am 22.03.2013.

Gesamtbiomasse (trocken) [g] von <i>Cyperus alternifolius</i> (gereiht) 22.03.13		Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]	
Substrat	C 2/4	9,39	1,71	100,0
	C 0/3	8,93	1,25	72,9
	C 0/12	3,41	-4,27	-250,0
	S	3,21	-4,47	-262,0
	B	3,05	-4,63	-271,1
	C 3/12	2,93	-4,75	-278,3
	E	0,69	-6,99	-409,4

Tab.145. Gesamtbiomasse trocken (gereiht) von *Cyperus alternifolius* am 22.03.2013.



Tab.146. Blattmasse trocken mit Diagramm von *Cyperus alternifolius* am 22.03.2013.

Oberirdische Masse (trocken) [g] von <i>Cyperus alternifolius</i> (gereiht) 22.03.13		Zuwachs 12.09.12 - 22.03.13	Zuwachs [%]	
Substrat	S	3,95	1,30	100,0
	C 0/3	3,85	1,21	92,8
	C 0/12	1,95	-0,69	-53,3
	B	1,69	-0,96	-73,7
	C 2/4	1,41	-1,23	-94,8
	C 3/12	1,38	-1,27	-97,8
	E	0,47	-2,18	-167,4

Tab.147. Blattmasse trocken (gereiht) von *Cyperus alternifolius* am 22.03.2013.

13.5. Aufnahmeprotokolle und fotometrische Berechnung des Pflanzenvolumens

13.5.1. Aufnahmeprotokoll Fotometrie *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Fotometrische Auswertung <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>								
Substrat	WH	Seite a				Seite b		
		Fläche [cm ²]	Höhe [cm]	Breite [cm]	mittl.B	Fläche [cm ²]	Höhe [cm]	Breite [cm]
C 0/3	1	1245,33	70,5	80,45	16,4	963,32	61,54	77,3
	2	1259,4	85,2	98,8	15,5	1327,5	92,9	72,7
	3	1217,2	86,2	119,0	18,6	1382,2	73,5	87,1
	∅	1240,6	80,6	99,4	16,8	1224,3	76,0	79,0
C 0/12	1	1293,45	71,16	86,78	18,9	1487,12	78,86	74,5
	2	1735,0	93,9	72,7	17,3	1725,2	87,4	95,8
	3	1573,0	98,8	109,0	14,1	1493,5	78,6	84,0
	∅	1533,8	88,0	89,5	16,8	1568,6	81,6	84,8
C 3/12	1	1264,04	72,42	83,55	17,3	155,52	88,41	104,98
	2	186,65	102,1	105,0	15,5	1822,1	100,8	88,0
	3	1357,1	73,1	84,9	15,7	1366,6	89,1	76,9
	∅	935,9	82,5	91,1	16,2	1114,8	92,8	90,0
C 2/4	1	1742,64	95,37	106,11	17,8	1709	77,6	107,52
	2	1946,0	75,2	106,5	17,8	1733,7	76,3	103,6
	3	2060,0	86,4	119,1	19,9	1838,3	82,2	108,6
	∅	1916,2	85,7	110,6	18,5	1147,6	51,3	70,4
S	1	1310,88	68,01	73,75	15,5	1111,96	58,71	75,81
	2	1377,0	79,6	72,3	20,0	1215,1	81,2	65,4
	3	1233,5	62,1	95,7	12,6	1214,9	66,8	71,6
	∅	1307,1	69,9	80,6	16,0	1180,6	68,9	71,0
B	1	1503,91	97,71	121,8	14,5	1867,17	97,919	89,6
	2	1731,1	90,5	90,8	16,3	1543,7	75,6	92,9
	3	1790,9	79,63	113,6	14,0	2012,4	84,3	118,0
	∅	1675,3	89,27	108,7	14,9	1807,7	85,9	100,2
E	1	2669,34	94,156	111,42	0,2	2131,09	87,39	104,05
	2	2993,26	102,85	126,88	19,2	2932,680	101,52	115,87
	3	2736,0	103,2	104,0	19,8	3166,8	95,1	109,4
	∅	2799,5	100,062	114,1	13,1	2743,5	94,7	109,8

Tab.148. Aufnahmeprotokoll Fotometrie *Chlorophytum sp. 'Ocean'*.

13.5.2. Fotometrische Pflanzenvolumenberechnung *Chlorophytum sp. 'Ocean'*

Fotometrische Auswertung - Volumenberechnung <i>Chlorophytum sp. 'Ocean'</i>								
Fa grün [cm ²]	Fb grün [cm ²]	Fa total [cm ²]	Fb total [cm ²]	Korr a [cm ²]	Korr b [cm ²]	Va [cm ³]	Vb [cm ³]	V [cm ³]
1245,33	963,32	5671,73	4757,04	0,22	0,20	19493,85	17016,33	18255,09
1259,44	1327,52	8418,20	6754,64	0,15	0,20	18004,87	19630,52	18817,69
1217,16	1382,17	10258,46	6400,11	0,12	0,22	22894,97	19511,97	21203,47
1240,64	1224,34	8016,50	6004,38	0,15	0,20	19996,91	18838,71	19417,81
1293,45	1487,12	6175,26	5875,07	0,21	0,25	24391,52	27030,85	25711,19
1735,03	1725,16	6823,50	8369,96	0,25	0,21	34266,79	31873,12	33069,95
1572,97	1493,50	10764,06	6600,10	0,15	0,23	29884,63	23782,45	26833,54
1533,82	1568,59	7868,89	6917,01	0,19	0,23	29482,08	27355,71	28418,90
1264,04	155,52	6050,69	9281,28	0,21	0,02	2223,54	2714,49	2469,02
186,65	1822,14	10716,36	8869,02	0,02	0,21	3375,71	3331,72	3353,72
1357,09	1366,60	6205,58	6852,80	0,22	0,20	20817,14	25367,24	23092,19
935,93	1114,75	7522,12	8345,34	0,12	0,13	11248,81	12640,77	11944,79
1742,64	1709,00	10119,71	8343,55	0,17	0,20	38378,50	31227,55	34803,03
1946,03	1733,71	8013,19	7904,62	0,24	0,22	44235,63	44853,12	44544,38
2060,00	1838,28	10284,40	8921,14	0,20	0,21	46086,66	43839,41	44963,04
1916,22	1147,57	9470,77	3610,13	0,20	0,32	42873,86	25672,26	34273,06
1310,88	1111,96	5015,74	4450,81	0,26	0,25	24827,90	21432,82	23130,36
1377,01	1215,08	5754,36	5311,19	0,24	0,23	20615,79	21022,46	20819,12
1233,54	1214,88	5936,66	4780,68	0,21	0,25	22447,62	24147,65	23297,63
1307,14	1180,64	5630,77	4887,05	0,23	0,24	22406,22	22082,41	22244,31
1503,91	1867,17	11901,08	8773,54	0,13	0,21	28677,33	28738,67	28708,00
1731,07	1543,70	8215,58	7019,35	0,21	0,22	35370,65	29537,45	32454,05
1790,85	2012,37	9043,58	9947,23	0,20	0,20	42740,19	45257,48	43998,83
1675,28	1807,75	9706,03	8606,72	0,17	0,21	35243,66	33924,90	34584,28
2669,34	2131,09	10490,86	9092,93	0,25	0,23	65094,45	60416,80	62755,62
2993,26	2932,68	13049,61	11763,12	0,23	0,25	86468,42	85350,26	85909,34
2736,02	3166,82	10726,59	10399,85	0,26	0,30	91128,34	83974,44	87551,39
2799,54	2743,53	11415,74	10390,88	0,25	0,26	81136,19	76758,63	78947,41

Tab.149. Fotometrische Pflanzenvolumenberechnung *Chlorophytum sp. 'Ocean'*.

13.5.3. Aufnahmeprotokoll Fotometrie *Crassula ovata*

Fotometrische Auswertung <i>Crassula ovata</i>								
Substrat	WH	Seite a				Seite b		
		Fläche [cm ²]	Höhe [cm]	Breite [cm]	mittl.B	Fläche [cm ²]	Höhe [cm]	Breite [cm]
C 0/3	1	176,5	11,5	20,8	16,4	180,5	11,6	22,6
	2	162,9	10,8	26,2	15,5	151,9	10,7	23,8
	3	187,0	11,4	27,0	18,6	167,0	10,3	25,9
	∅	175,5	11,2	24,7	16,8	166,5	10,9	24,1
C 0/12	1	193,7	11	28,3	18,9	163	11	21
	2	170,9	10,9	23,9	17,3	154,8	10,7	24,6
	3	160,1	12,1	21,1	14,1	177,8	11,9	25,2
	∅	174,9	11,3	24,4	16,8	165,2	11,2	23,6
C 3/12	1	171,8	11,3	21,7	17,3	161,8	12,1	19,4
	2	152,3	12,4	23,9	15,5	165,5	13,7	20,5
	3	198,2	13,6	23,5	15,7	197,3	13,7	24,0
	∅	174,1	12,4	23,0	16,2	174,9	13,2	21,3
C 2/4	1	204,1	12,1	25,5	17,8	222,5	12,7	26,1
	2	184,4	11,7	25,0	17,8	204,7	12,7	25,7
	3	185,8	10,6	28,1	19,9	191,0	11,5	28,8
	∅	191,4	11,5	26,2	18,5	206,1	12,3	26,9
S	1	160,5	11,6	25,5	15,5	192,8	12,2	25,5
	2	216,8	11,5	28,9	20,0	198,2	11,2	24,5
	3	234,6	12,6	20,8	12,6	209,4	12,0	26,5
	∅	204,0	11,9	25,1	16,0	200,1	11,8	25,5
B	1	140,4	10,5	21,2	14,5	148,8	10,5	23,9
	2	191,1	12,7	25,9	16,3	196,5	13,6	24,0
	3	239,3	15,5	24,5	14,0	225,9	14,5	27,6
	∅	190,3	12,9	23,9	14,9	190,4	12,9	25,2
E	1	21,8	1,9	3	0,2	17,1	1,1	2,9
	2	152,7	8,9	26,9	19,2	160,000	8,5	30,3
	3	198,9	11,4	25,8	19,8	287,8	12,4	33,6
	∅	124,5	7,4	18,6	13,1	155,0	7,3	22,3

Tab.150. Aufnahmeprotokoll Fotometrie *Crassula ovata*.

13.5.4. Fotometrische Pflanzenvolumenberechnung *Crassula ovata*

Fa grün [cm ²]	Fb grün [cm ²]	Fa total [cm ²]	Fb total [cm ²]	Korr a [cm ²]	Korr b [cm ²]	Va [cm ³]	Vb [cm ³]	V [cm ³]
176,50	180,50	239,20	262,16	0,74	0,69	2746,40	2770,28	2758,34
162,90	151,90	282,96	254,66	0,58	0,60	2312,57	2291,16	2301,86
187,02	167,00	307,53	267,53	0,61	0,62	3019,04	2744,71	2881,87
175,47	166,47	277,01	262,11	0,63	0,64	2684,36	2601,95	2643,16
193,70	163,00	311,30	231,00	0,62	0,71	2870,28	2870,28	2870,28
170,90	154,80	260,51	263,22	0,66	0,59	2472,46	2427,09	2449,78
160,06	177,78	254,41	301,08	0,63	0,59	2384,97	2354,39	2369,68
174,89	165,19	276,61	264,69	0,63	0,62	2577,09	2550,17	2563,63
171,80	161,80	245,21	234,74	0,70	0,69	2297,29	2459,93	2378,61
152,30	165,50	296,36	280,85	0,51	0,59	1839,83	2032,71	1936,27
198,19	197,30	319,67	328,80	0,62	0,60	2854,17	2874,52	2864,34
174,10	174,87	286,40	280,45	0,61	0,62	2312,16	2448,34	2380,25
204,10	222,50	308,55	331,47	0,66	0,67	3575,77	3753,08	3664,42
184,40	204,70	292,50	326,39	0,63	0,63	2972,18	3226,21	3099,20
185,80	191,04	298,36	331,20	0,62	0,58	3086,53	3347,64	3217,09
191,43	206,08	300,60	330,46	0,64	0,62	3207,36	3440,15	3323,76
160,50	192,80	295,80	311,10	0,54	0,62	2536,43	2667,62	2602,02
216,80	198,20	332,35	274,40	0,65	0,72	3836,59	3736,50	3786,54
234,60	209,40	262,08	318,00	0,90	0,66	4093,77	3898,83	3996,30
203,97	200,13	298,29	300,90	0,68	0,67	3459,37	3430,30	3444,83
140,40	148,80	222,60	250,95	0,63	0,59	1989,67	1989,67	1989,67
191,10	196,50	328,93	326,40	0,58	0,60	2761,11	2956,78	2858,95
239,30	225,90	379,75	400,20	0,63	0,56	3728,13	3487,60	3607,87
190,27	190,40	307,88	323,81	0,62	0,59	2815,55	2808,28	2811,91
21,80	17,10	5,70	3,19	3,82	5,36	338,89	196,20	267,55
152,70	160,00	239,41	257,55	0,64	0,62	2874,35	2745,17	2809,76
198,90	287,80	294,12	416,64	0,68	0,69	4616,40	5021,35	4818,88
124,47	154,97	137,39	163,29	0,91	0,95	2630,21	2606,51	2618,36

Tab.151. Fotometrische Pflanzenvolumenberechnung *Crassula ovata*.

Curriculum vitae

Irene Zluwa

geboren am 04. 11. 1982
in Wien

1989-1993
Volksschule Berndorf

1993-2001
Bundesgymnasium Berndorf
Abschluss mit Reifeprüfung am 18. 06. 2001

2001-2003
Studium der Rechtswissenschaften,
Universität Wien

2003-2005
Kolleg für Bautechnik- Umwelttechnik-
Ausbildungsschwerpunkt Landschafts- Verkehrs- und Infrastrukturanlageplanung,
Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt Mödling
Abschluss mit Diplomprüfung am 14. 10. 2005

2005-2010
Bachelorstudium Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur
Universität für Bodenkultur Wien
Abschluss mit Bakk. Techn. am 19. 01. 2010

seit 2009
Fachanleiterin beim Verein Spacelab zur Beschäftigung
ausgrenzungsgefährdeter Jugendlicher

seit 2010
Masterstudium Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur Universität für
Bodenkultur Wien

seit 2011
Mitarbeit am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, am Institut für
Pflanzenbau sowie am Institut für Landschaftsarchitektur,
der Universität für Bodenkultur Wien

