



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Integrative Biologie  
und Biodiversitätsforschung

# Seedballs

Ein Keimfähigkeitsversuch zur naturnahen Begrünung von Rohböden

Maximilian Köller

0941663

## Masterarbeit

Wien, 2020

Studium:

Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

Betreuer: Univ. Prof. Dipl. Geograph Dr. Karl Georg Bernhardt

Co-Betreuer: Dipl. Biol. Dr. Leonid Rasran

Institut Botanik

Populationsbiologie und Biodiversität der Pflanzen

Universität für Bodenkultur, Wien

Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung

## 1 Erklärung:

Hiermit erkläre ich die vorliegende Masterarbeit selbständig angefertigt zu haben. Es wurden nur die in der Arbeit vorliegenden Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtliches oder sinngemäßes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## Danksagung

Zuerst möchte ich **meinen Eltern** danken, dass sie mir dieses Studium ermöglicht haben, meinen Ideen Vertrauen schenken und nie aufgehört haben an meinen Abschluss zu glauben.

Meinem Professor **Dipl. Geograph Dr. Karl Georg Bernhardt** danke ich dafür, dass ich dieses, von mir selbst gewählte Thema, auf dem Institut umsetzen durfte und diese Masterarbeit ermöglichte.

Meinem Zweitbetreuer **Dipl. Biol. Dr. Leonid Rasran** danke ich für die tägliche Zusammenarbeit, die enorme Kompetenz in der Erstellung des Forschungsdesigns, für das schnelle Beantworten meiner E-Mails, von der ersten bis zur letzten und dafür, dass er mir geholfen hat, ein Thema dieser Art erst möglich zu machen.

Den **BOKU-Gärtnern** für das Instandsetzen und die Betreuung des Versuchs auch wenn ich nicht da war.

Der **Rieger-Hoffman GmbH** für das Saatgut und die netten und bemühten Telefonate.

Allen **Mitarbeiter\_innen des Instituts** Department für integrative Biologie und Biodiversitätsforschung, die immer und ausnahmslos hilfreich und bemüht waren, damit ich meine Masterarbeit reibungslos durchführen konnte und mir alle benötigten Utensilien zur Verfügung stellten.

Ganz besonderer Dank gebührt auch **Viktoria Miklauz BA BSc** dafür, dass sie mich vor Jahren auf dieses Thema gebracht hat und mir immer mit seelischem Beistand, in allen Phasen der Arbeit zur Seite stand.

Größter Dank gilt auch all meinen Freunden, die mich in vielen Situationen unterstützt haben und immer ein offenes Ohr und Ratschläge für mich hatten.

Allen Menschen, die ich nicht erwähnt habe, mich aber auf unterschiedliche Weise inspiriert haben, nicht aufzugeben und dieses Thema umzusetzen.

## 2 Zusammenfassung

In einem Versuch zur naturnahen Begrünung von Rohböden wurde die Keimfähigkeit von 10 Arten unterschiedlicher Samengröße einer Glatthaferwiese durch zwei verschiedene Ansaatmethoden getestet. Bei der einen Methode handelt es sich um Trockensaat, bei der die unbehandelten Samen auf der zu begrünenden Fläche verteilt wurden. Bei der anderen Methode wurde ein Substrat aus 2:1 Humus:Lehm und Wasser hergestellt, in die das abgezählte Saatgut eingeknetet wurde, um daraus 3 cm große Bälle herzustellen. So wurden 200 Seedballs mit je einer genau abgezählten Menge an Samen händisch hergestellt. Auf einer Fläche von 50 m<sup>2</sup> wurden 88 Keimschalen von ¼ m<sup>2</sup> Größe aufgestellt, die mit einem Substrat aus Torf und Kies befüllt wurden. Auf 40 Schalen wurde Trockensaat ausgebracht und auf weiteren 40 wurden 5 Seedballs pro Schale fallen gelassen. 8 Kontrollschalen wurden aufgestellt um Sameneinflug zu beobachten. Die Menge des Saatguts in den Schalen der Trockensaat hat der Menge des Saatguts in Seedballs pro Schale entsprochen. Es sollte verglichen werden, in wie weit sich das Keimverhalten der einzelnen Arten innerhalb der zwei Begrünungs-Methoden voneinander unterscheidet. Die Auswertung erfolgte mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse. Die Qualität des Saatgutes wurde mittels eines Keimfähigkeitstests im Klimaschrank ermittelt, die verbleibende Zellaktivität mit einem TTC-Test festgestellt. Beim Versuch konnte festgestellt werden, dass kleinsamige und mittelgroße Arten wie *Achillea millefolium*, *Dianthus carthusanorum* und *Salvia pratensis* bei Trockensaat besser keimen. Großsamige Arten wie *Arrhenatherum eliantus*, *Anchusa officinalis* und *Knautia arvensis* traten häufiger in Seedballs auf. Es konnte festgestellt werden, dass alle Arten in Seedballs keimten und sich diese Methode bei ausreichend Niederschlag somit für eine Begrünung von Rohböden eignet. Sie bietet den Samen Fraßschutz vor Tieren.

**Schlagwörter: Samenbomben, Renaturierung, Naturnahe Begrünung, Keimfähigkeit, Samengröße, Rohböden**

### 3 Abstract

In an attempt to natural greening of raw soils, the germinability of 10 species of different seed size of a flat oat meadow was tested in two different sowing methods. One method is dry seed, where the untreated seeds are distributed on the area to be planted. In the other method, a substrate of 2:1 humus: loam and water was prepared, in which the counted seeds were kneaded into 3 cm balls. So 200 Seedballs were produced by hand, each of which contained an exactly counted amount of seeds. On a surface of 50 m<sup>2</sup>, 88 trays of ¼ m<sup>2</sup> in size were set up, which were filled with a substrate of peat and gravel. Dry seed was spread on 40 trays and on additional 40 trays, 5 seedballs per tray were dropped. 8 control trays were set up to observe seed entry from outside. The amount of seed in the trays of dry-seeding was the same, as the amount of seed in seedballs per tray. It should show the different germination behavior of the individual species within the two greening methods. The evaluation was carried out with a one-factorial analysis of variance. With a germination test in the climatic chamber, the quality of the seed was analysed and the remaining cell activity was determined with a TTC test. The experiment has shown that small-seeded and medium-sized species such as *Achillea millefolium*, *Dianthus carthusanorum* and *Salvia pratensis* germinate better in dry-seeding. Large-seeded species such as *Arrhenatherum eliantus*, *Anchusa officinalis* and *Knautia arvensis* were more common in seedballs. It was found that all species were present in seed balls and this method is thus suitable for greening of bare soils with sufficient rainfall and offers a feeding protection against animals.

**Keywords:** seed balls, restoration, natural greenery, germination, seed size, raw soils

## 4 Inhaltsverzeichnis

1	Erklärung:.....	2
2	Zusammenfassung.....	4
3	Abstract.....	5
4	Inhalt .....	6
5	Einführung/Stand der Forschung:.....	8
5.1	Ansaatmethoden .....	9
5.2	Geschichte: .....	10
5.2.1	Inspiration für das Thema:.....	11
5.3	International durchgeführte Seedball-Experimente und ihre Resultate .....	12
5.4	Samenummantelung (Seed coating) .....	14
5.5	Komponenten.....	15
5.5.1	Lehm:.....	15
5.5.2	Humus:.....	15
5.5.3	Rohböden – Definition:.....	16
5.6	Forschungsfragen und Hypothesen.....	17
6	Mischungsverhältnisse & Erosion (Pretest) .....	18
7	Methode: .....	20
8	Saatgut Wahl:.....	21
9	Quantitative Herstellungsmethoden:.....	21
9.1	Seedballs: .....	22
10	Keimfähigkeitsanalyse und TTC-Analyse.....	24
11	Aufnahme & Auswertung: .....	26
11.1	Deskriptive Statistik:.....	26
12	Die Glatthaferwiese .....	27
13	Steckbriefe der verwendeten Pflanzen:.....	28
13.1.1	<i>Campanula rapunculoides</i> Campanulaceae - Wiesen-Glockenblume .....	28
13.1.2	<i>Achillea millefolium</i> L– gemeine Schafgarbe .....	29
13.1.3	<i>Leontodon hispidus</i> - streifhaariger Löwenzahn .....	30
13.1.4	<i>Festuca rubra</i> - gewöhnlicher Rotschwingel.....	31
13.1.5	<i>Dianthus carthusianorum</i> - Karthäuser-Nelke.....	32
13.1.6	<i>Centaurea jacea</i> – gemeine Wiesenflockenblume.....	33

13.1.7	<i>Salvia pratensis</i> L. Wiesen-Salbei – .....	34
13.1.8	<i>Arrhenatherum elatius</i> – französischer Glatthafer.....	35
13.1.9	<i>Anchusa officinalis</i> L. – gemeine Ochsenzunge .....	36
13.1.10	<i>Knautia arvensis</i> Acker-Witwenblume.....	37
14	Versuch: .....	38
15	Boxplots:.....	40
15.1.1	<i>Campanula rapuncu loides</i> Acker-Glockenblume .....	40
15.1.2	<i>Achillea millefoium</i> Gewöhnliche Schafgarbe .....	41
15.1.3	<i>Leonthodon hispidius</i> - Steifhaariger Löwenzahn .....	42
15.1.4	<i>Festuca rubra</i> - gewöhnlicher Rotschwingel .....	43
15.1.5	<i>Dianthus carthusianorum</i> - Karteusernelke.....	44
15.1.6	<i>Centaurea jacea</i> - Wiesen-Flockenblume.....	45
15.1.7	<i>Arrhenatherum elatius</i> - Gewöhnlicher Glatthafer.....	46
15.1.8	<i>Salvia pratensis</i> - Wiesensalbei.....	47
15.1.9	<i>Anchusa officinalis</i> - gemeine Ochsenzunge .....	48
15.1.10	<i>Knautia arvensis</i> - Acker-Witwenblume.....	49
15.2	Kontrollschalen:.....	50
15.3	Sonstige eingeflogene Arten .....	51
16	Ergebnisse:.....	52
17	Gesamtdeckung der Keimschalen .....	53
18	Diskussion .....	54
19	Darstellung der Verteilung der Mittelwerte aller Arten: .....	55
20	Schlussfolgerungen: .....	56
20.1	Empfehlungen:.....	56
20.2	Konklusion: .....	59
21	Quellenverzeichnis: .....	61
22	Abbildungsverzeichnis .....	66
23	Tabellenverzeichnis .....	67
24	Anhang: .....	68

## 5 Einführung/Stand der Forschung

Der stetig intensivierte Eingriff in die Landschaft durch Landwirtschaft und Infrastruktur benötigt eine Ansaatmethode, die ökologisch und ökonomisch wertvoll ist, auf naturraumtypische Pflanzengesellschaften eingeht, Erosionsschutz bietet und zu einer vielseitig strukturierten Kulturlandschaft beiträgt. Neben den vorhandenen Möglichkeiten verlangt es nach einer, die vorgefertigt und mit geringem Arbeitsaufwand ergänzend eingesetzt werden kann, um aufwändigen Standortvorbereitungen vorzubeugen. Diese Masterarbeit soll sich mit einer Methode befassen, die zur Einbringung von keimfähigem Saatgut für artenarme Böden, zur Bodendeckung von Rohböden und zur Wiederansiedelung von Zielarten herangezogen werden kann, um zur floristischen Identität beizutragen.

Die Methode geht auf den japanischen Mikrobiologen und Bauern Masanobu Fukuoka zurück, welcher Pellets entwickelte, um seine Reissamen vor Mäuseverbiss zu schützen. Die Literatur kennt verschiedene Möglichkeiten, keimfähiges Material auf Mutterboden auszubringen. Neben Heudrusch, Mulchdecksaat, Heumulchsaat, Spritzsaat, Heublumensaat oder der Übertragung von Oberboden stellt nun die Verwendung von Seedballs eine noch wissenschaftlich wenig erforschte Methode auf dem Gebiet der Renaturierung dar, die nun erprobt werden soll.

Während sich moderne Samentechnologien zur Ummantelung zumeist darauf konzentrieren, Samen vor Pilzen und Insekten zu schützen, sowie Samen zu pillieren um das Handling zu erleichtern und Wachstumsregulatoren hinzuzufügen, soll in dieser Arbeit Fukuokas Methode hinsichtlich des Keimungs- und Wachstumsverhalten von Saatgutmischungen in Seedballs untersucht werden.

In der vorliegenden Arbeit wird das englische Wort „Seedballs“ für „Samenbomben“ genutzt.

Der Einsatz von Seedballs bildet methodisch eine Kombination aus Ansaat und der Übertragung von Oberboden. Der Substratmantel, in dem sich die Samen im Seedball befinden, bildet ein Versorgungspaket aus Nährstoffen, die bei Einsetzen des Regens in den Boden sickern und den Keimling so versorgen. Weiters stellt er einen Verbisschutz dar.

Um herauszufinden welches Verhältnis von Humus:Lehm sich für den Einsatz am besten eignet, wurde ein Pre-Test mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen durchgeführt.

Dazu wurde eine Auswahl von 10 Arten einer Glatthaferwiese getroffen, die sich in Wuchsform und Samengröße unterscheiden. Ihre Keimfähigkeit wird in selbst hergestellten Seedballs aus einem Ton-Kies-Gemisch gemessen. In 88 Keimschalen wird das Keimverhalten von nacktem Saatgut dem in Seedballs gegenübergestellt und durch das Aufkommen gemessen. Seedballs mit Glatthaferwiesen-Saatgut können somit auf ihre

Verwendung in Freiflächen geprüft werden. Durch die statistische Auswertung mittels einfaktorieller Varianzanalyse wird untersucht, in wie weit die Methode für einzelne Pflanzenarten von Vorteil ist. Sollte das Experiment positiv verlaufen und Seedballs ein Versorgungspaket für die Samen bereitstellen, tut sich eine Perspektive auf, diese Methode den wissenschaftlich geprüften, praxisorientierten Empfehlungen hinzuzufügen, um Rohböden wieder zu begrünen und ressourcensparend anzusäen.

## **5.1 Ansaatmethoden**

(Vgl. Florineth 2012)

Der folgende Abschnitt behandelt eine Zusammenfassung etablierter Ansaatmethoden, welche zur Verdeutlichung der Methodik des Seedballings angeführt werden.

Einfache Trockensaat ist das getrennte Ausbringen von Saatgut und Dünger.

Heublumensaat ist die Ausbringung von Samen aus getrocknetem Heu oder Heuresten.

Heudruschsaat besteht aus gedroschenem, nachgetrocknetem Heu mit geringen Blatt- und Blütenresten.

Deckfruchtsaat beschreibt das Einarbeiten von Dunkelkeimern in den Boden. Das restliche Saatgut wird darüber verteilt.

Nass-Saat (Hydrosaaften) ist eine Mischung aus Samen, Düngern Mulchstoffen und Klebemittel, die mit Wasser vermischt aus einem Spritzfass mit Rührwerk auf Böschungen gespritzt werden.

Mulchsaaten bestehen aus verschiedenen organischen Materialien, wie Heu und Stroh, mit denen das Saatgut nie höher als 3-4 cm abgedeckt wird. Diese Methode kann für extreme Standorte verwendet werden (Kälte, Hitze, Trockenheit). An steilen Lagen kann zusätzlich eine Bitumenemulsion verwendet werden um die Mulchung zu verkleben wie ein Jutte- bzw. Kokosfasernetz. Bei ausgereiftem Heu aus der Umgebung kann auf eine Einsaat verzichtet werden.

Saatmatten, Rohfaserplatten sind Matten bestehend aus Holzwolle, Kokosfaser, Altstoffen, Hanf oder Stroh in denen das Saatgut zumeist eingearbeitet ist. Diese Matten werden mit direktem Bodenkontakt ausgebracht und haben in Gebieten mit Trockenheit hohe Bedeutung.

Rasenziegel sind Vegetationstücke die von unten nach oben angebracht werden.

Oberbodenauftrag ist die Ausbringung von Grünlandboden aus der Umgebung in 0,5 – 2 cm, ohne den Einsatz von fremdem Saatgut und unter ausschließlicher Verwendung der samenreichen, 20 cm-tiefen Bodenoberschicht.

In einer Studie zu verschiedenen Ansaatmethoden wurden die besten Ergebnisse für die Renaturierung von Grünland durch die Ausbringung von Oberboden, durch Mulch und Trockensaaten erzielt (vgl. Kiehl et. al. 2010). Der Einsatz von Seedballs kann in entfernterem Sinn als Ausbringung von Oberboden mit artenreicher Saatgutmischung verstanden werden.

## 5.2 Geschichte

Die Idee der Seedballs reicht lang zurück bis ins alte China, wo man aus Tonerde Klumpen formte um darin Reissamen vor dem Wegschwämmen beim Fluten der Reisfelder zu bewahren. Die Samenkugeln blieben so an Ort und Stelle liegen und wurden durch das Wasser und die Keimkraft der Sämlinge aufgebrochen (vgl. Taylor et al. 1998).

Die Römer kannten dieses Verfahren ebenfalls. Wie Pliny the Elder (23 AD – August 25, 79) beschrieb, wurden diverse Gemüsesamen einzeln in Bälle aus Ziegendingung geknetet und wuchsen daraufhin gut an (vgl. Evenari 1971).

Die erste kommerzielle Nutzung wurde dann von der britischen Saatgutfirma Germain's 1930 für Getreide entwickelt, wobei man sich darauf konzentrierte das Saatgut zu pelletieren, um den Samen zu vergrößern und das Saatgut mit Beizmittel zu versehen (vgl. Kaufmann 1991).

In Japan entwickelte der Mikrobiologe und Bauer Masanubu Fukuoka dann eine Methode, die ganz ohne Gifte oder chemischen Komponenten auskam.

Sein Interesse galt ebenfalls dem Reisanbau. In Fukuokas Methode wird der vorhandene Lehm getrocknet und pulverisiert. Mit Lehm und Wasser werden so Kugeln hergestellt, die mit dem Reissamen versehen werden. Diese Kugeln werden zwei Tage lang in der Sonne getrocknet ehe sie ausgebracht werden (vgl. Fukuoka 2018).

Bevor die Reissamen verarbeitet werden, legt man sie ungeschält für mehrere Stunden in Wasser ein (vgl. Fukuoka 2018). Dieser Vorgang kann mit einer Vorkeimung verglichen werden, dem sogenannten Priming. Hier wird dem Samen Wasser zur Verfügung gestellt um die ersten Phasen der Keimung zu kontrollieren (vgl. Taylor et al 1998).

Nach dem Aussähen bleiben die Samen durch den Substratmantel vor Tierfraß geschützt.

Eine andere, von ihm entwickelte Methode ist, zuerst einen Teig aus Humus, Lehm, Saatgut und Wasser herzustellen und diesen dann durch ein engmaschiges Netz aus Draht zu pressen, um so zeitsparend Pellets herzustellen (vgl. Fukuoka 2018). Am 23.12.1998 ließ Fukuoka das Patent **EP0885554** in München anmelden um seine Idee zu schützen.

Die chemiefreie Idee Fukuokas wurde von einer Bewegung aufgegriffen, die in den 1970er Jahren in New York gegründet wurde. Guerilla-Gärtner sahen ihre Aufgabe darin, die

brachliegenden Flächen der tristen Stadtlandschaft und Industriebrachen zu bepflanzen. Aus Samenbällen und Pellets wurden so Samenbomben, die auch politisch motiviert auf Gentechnik-Freilandversuchen ausgebracht wurden um natürliche heimische Pflanzen auszusähen (vgl. Reynolds 2009).

Heute besteht eine Firma die Baum-, und Gräsersamen mit biologischem Dünger als Bindemittel in einem Kohlenstaubmantel (biochar) verkauft ([seedballskenya.com](http://seedballskenya.com)). Es können bereits Erfolge mit der Renaturierung von Ariden Landschaften verzeichnet werden, obgleich die Verwendung eines Kohlenstaubmantels keine oder eine neutrale Auswirkung auf die Keimfähigkeit kleinsamiger Arten haben dürfte (vgl. Williams et al. 2016).

Das Militär in Sri Lanka hat bereits ein Aufforstungsprojekt gestartet, bei dem durch Flugzeuge Samenbälle abgeworfen werden (vgl. Fernando, Wijesinghe 2018).

### **5.2.1 Inspiration für das Thema**

Angesichts der drohenden Erderwärmung und den oftmals damit verbundenen Naturkatastrophen, die mit der Ausbeutung von Wiesen und Wäldern für Rohstoffe, das globale Klima zusätzlich belasten, benötigt es eine Renaturierungsmethode, die großflächig und mit geringem Arbeitsaufwand, zerstörte Landschaften wiederbegrünen kann.

Durch die Verwendung von Artenkombinationen typischer Pflanzengesellschaften wird auf das Gleichgewicht der botanischen Identität und vorhandener Standortfaktoren, die zum Leben braucht, eingegangen. Mit der Imitierung primärer Sukzession durch Seedballs kann so das Verhalten der Natur nachgestellt, und Pflanzen können schneller etabliert werden.

### 5.3 International durchgeführte Seedball-Experimente und ihre Resultate

In einer von der U.S. Army durchgeführten Studie wurden Tests mit verschiedenen Mischungsverhältnissen gemacht, bei denen sich zeigte, dass ein Verhältnis 1:3 bzw. 5:1 Lehm zu Humus die besten Anwuchsresultate bei verschiedenen Gräserarten ergab. Es wurden Anwuchserfolge verschiedener Gräser in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen festgestellt. Aufgrund des Preises wird jedoch ein Verhältnis von 1:3 Lehm zu Humus empfohlen (vgl. U.S. Army Corps of Engineers 2011).

In Südindien wurde bei einem Freilandversuch die Keimfähigkeit von nacktem Saatgut im Vergleich zu Saatgut in Samenbällen getestet, aufgrund des ausbleibenden Regens jedoch kein Ergebnis erzielt (vgl. Shashidharan 2011). Das zeigt, dass ohne ausreichenden, anhaltenden Regen kein Wachstum stattfinden kann.

Von 1946 bis 1961 wurden in den westlichen Rangelands der USA große Mengen an Samen-pellets (coated seed pellets), Erd-pellets (earthen pellets) und extrudierten Samen-pellets (extruded seed pellets) durch Flugzeuge ausgebracht. Es wurde untersucht, ob es möglich ist in diesen trockenen Landschaften über 180000 acre (728,43 km<sup>2</sup>) mit Hilfe verschiedener Methoden heimische Sorten wieder anzusiedeln. Bei coated seed pellets handelt es sich, wie bereits oben erwähnt, um die Vereinzelung von Samen, um ihre Größe durch Lehm zu erhöhen. Bei earthen pellets wird Erde aus dem zu besamenden Gebiet verwendet, um sie mit den Samen maschinell in kleine Kugeln zu pressen. Extruded pellets werden aus einem Gemisch aus Erde unter hohem Druck durch runde Öffnungen gepresst, um dann zylindrische Pellets zu erhalten. Die Studie zeigte, dass seed pelleting keinen Keimungsvorteil gegenüber nacktem Saatgut bietet. Bei der Keimfähigkeitsprüfungen im Gewächshaus wurde festgestellt, dass ein sehr hoher Teil der Gräseramen der earthen pellets durch das Herstellungsverfahren beschädigt wurde. Erfolgreiche Resultate erhielt man mit Pflügen und Sähmaschinen (vgl. U.S. Department of Agriculture 1963).

In einer weiteren Studie konnte herausgefunden werden, dass das Interesse dem Sähverfahren galt und nicht dem, was gesät wurde (vgl. Roudy 1995). Die richtige Saatgutwahl stellt einen ebenso wichtigen Faktor dar, wie die verwendeten Komponenten und der vorhandene Niederschlag.

Es zeigt sich, dass ausreichend Wasser ein entscheidender Faktor ist, um erfolgreiches Anwachsen mittels Seedballs zu erreichen. Weiters sollte in Betracht gezogen werden, den

organischen Anteil für die Verwendung in besonders trockenen Gebieten stark zu erhöhen, um ein Hartbacken des Lehms zu unterbinden. Sehr vorteilhaft dürfte sich auch die Penetration des Bodes auf eine erfolgreiche Keimung auswirken, was durch ein Ausbringen in Regenzeiten durch ausreichend schwere Seedballs gewährleistet werden könnte oder durch eine entsprechende, dem Boden und dem Saatgut angepasste Mischung der Komponenten.

Dies konnte in einer Studie gezeigt werden, die sich mit der Ansaat von Perlhirse *Pennisetum glaucum* in Senegal beschäftigt. Hier konnten mit einem Gemisch aus 80g Sand + 50g Lehm + 25ml Wasser für im Durchmesser 2 cm große Seedballs Erfolge beim Anwuchs erzielt werden. Unter der Beimischung von + 3 g Holzasche oder + 1g NPK-Dünger wurden 60 % und 75 % Anwuchs erzielt. Bei dem Feldexperiment wurden 95 % des Aufkommens unter tatsächlichen sahelischen Bedingungen festgestellt (vgl. Nwankwo et al. 2018). Bei der verwendeten Sorte handelt es sich um eine großsamige Art mit einem Samengewicht von 6,6g/1000 Samen (vgl. KEW 2019).

Die Puente Hills Landfill Native Habitat Preservation Authority prüfte ein Seedball-Rezept aus 5:3:1 Lehm:Kompost:Samen im Vergleich zu händisch ausgestreutem Saatgut. Bei dem Experiment zeigte sich, dass Seedballs nicht besser aber auch nicht schlechter keimen als das händisch ausgesäte nackte Saatgut. Unterschiede traten im Aufkommen verschiedener heimischer Sorten auf (vgl. Lucas 2011).

In Costa Rica prüfte man, wie sich Seedballs unter tropischen Bedingungen verhalten. Zuerst wurden die Samen einzelner Sorten in 1 cm Humus geknetet und dann mit einer Schicht aus 1 cm Lehm versehen, die vor dem Wetter schützen sollte. Alle Sorten wurden gekennzeichnet, um ein Vermischen zu verhindern. Weiters wurden die Seedballs jeder Art auf Terrassen bis zu einer Höhe von 1200m über dem Meeresspiegel verbreitet. Nur drei von zwölf Arten wiesen eine höhere Keimrate als 5 % auf, sowohl bei Seedballs als auch bei nacktem Saatgut. Der Autor schloss, dass die Schale aus Lehm durch die starken Regenfälle zu schnell zersetzt wurde und zusätzlich die Samen stark unter Fraßdruck litten. Auf Grund der Tatsache, dass das verwendete Rezept für die Herstellung an japanische Verhältnisse angepasst war, war der Zeitpunkt der Aussaat ungünstig gewählt. Zusätzlich floss Konkurrenzdruck vorhandener tropischer Gräser ebenfalls in das Ergebnis ein (vgl. Elliot 2010).

Für die Renaturierung mit *Coleogyne ramosissima* in der Mojave Wüste USA, wurde die Effektivität von Seedballs im Vergleich zu aufgezogenen Pflanzen und Setzlingen in Käfigen getestet. Für Seedballs wurden zwei Rezepte verwendet. Beim ersten wurden 28 Teile

Humus, 11 Teile roter Lehm, 11 Teile Cocosfaser und 5 Teile Sand verwendet. Es wurden Seedballs mit einem Durchmesser von 4 cm daraus geformt. Beim zweiten Experiment ein Jahr später wurde der Humusanteil erhöht und die Seedballs flach gepresst (2 cm Höhe). Das Aufkommen bei nacktem Saatgut betrug 13 % und bei Seedballs 0,15 % (vgl. Jones, Schwinning, Esque 2014). Hier wurde anscheinend Saatgut von äußerst schlechter Qualität verwendet und kein Keimfähigkeitstest durchgeführt um weitere Aussagen zu treffen.

In einer weiteren Studie am Muir Wood National Monument konnte das Aufkommen der durch Seedballs ausgebrachten Arten nicht erhoben werden, da die vorhandene nichtheimische Vegetation zu stark wuchs, um Daten erheben zu können. Von März bis April gab es in der Gesamtanzahl der Pflanzen keine signifikanten Unterschiede, jedoch konnte beobachtet werden, dass Gräser in jedem Zeitraum am häufigsten auftraten (vgl. Ino 2002). Die Studien haben gezeigt, dass die stark limitierenden Faktoren für ein Anwachsen Wasserverfügbarkeit, Konkurrenz und Verarbeitung der Samen sind. Daraus kann gefolgert werden, dass die verwendete Methode unbedingt dem zu begründenden Ort angepasst werden muss. Einwandfreies Saatgut, dessen Keimfähigkeit und schonende Weiterverarbeitung gewährleistet ist, stellt einen weiteren wichtigen Faktor dar.

In Hinblick auf den Arbeitsaufwand im Rahmen der händischen Herstellung der Seedballs könnte auf maschinelle Maßnahmen, wie Betonmischer zurückgegriffen werden.

#### **5.4 Samenummantelung (Seed coating)**

Seed coating ist ein Verfahren, welches Samen mit äußeren Materialien versieht, um physikalische Eigenschaften zu beeinflussen und aktiv wirkende Stoffe um die Oberfläche zu hüllen. Die Samen werden in einer sich drehenden Pfanne mit den Inhaltsstoffen besprüht (vgl. Pedrini et al. 2016). Die Samenummantelung erleichtert den Umgang mit besonders kleinem Saatgut, dass durch die aufgetragenen Stoffe besser portioniert werden kann, um es in geeigneter Anzahl setzen zu können und um eine gleichmäßige Pflanzenverteilung zu bewirken. Weiters werden Mikronährstoffe, Wachstumsregulatoren und -stimulanzien, sowie Pflanzenschutzmittel hinzugefügt. Zuerst werden die Samen mit Hydrationsverfahren wie Einweichen (priming), Vorkeimen (pre-germinating) vorbehandelt, dann werden sie entweder mit einer Kruste (encrust), Mantel (coat) oder Pellet versehen, die aus Fungiziden, Insektiziden, Desinfektionsmitteln, biologischen Impfstoffen, Nährstoffen, Wachstumsregulatoren und Elicitoren bestehen (vgl. Halmer 2008). Diese Verfahren werden größtenteils in der Nahrungsmittelindustrie verwendet vor allem beim Gemüseanbau.

Fukuokas Methode und die des seed coating ähneln einander in der Idee, nicht aber in den verwendeten Komponenten, aus denen sich die Samenbälle zusammensetzen. Während das seed coating der Aufbereitung des Saatgutes zum leichteren Handling, dem Schädlingschutz mit chemischen Zusatzstoffen gewidmet ist und größtenteils nur einzelne Samen beinhaltet (vgl. Halmer 2008), setzen sich Fukuokas Samenbälle aus mehreren Samen zusammen, bei der ausschließlich natürlich entstandene Zusatzstoffe verwendet werden.

In einem Versuch Savannen und Wüsten wieder zu begrünen, wurden Trockenheit verträgliche Arten in einen Mantel aus Erde und eine zweite Schicht aus Ton eingefasst, um dann ausgebracht zu werden (vgl. Fukuoka 2012).

Fukuoka hat seine Samenbälle für den Anbau von Reis und Gemüse entwickelt. Hier soll herausgefunden werden, ob die Methode auch für die naturnahe Begrünung von Rohböden verwendet werden kann.

## **5.5 Komponenten**

### **5.5.1 Lehm**

Die sehr geringe Teilchengröße von Lehm ( $<2\mu\text{m}$ ) bewirkt, dass Tongesteine oder tonige Böden eine gute Plastizität sowie Quellfähigkeit besitzen, (vgl. Stahr et al. 2018) was für die Verwendung in Seeballs viele Vorteile bietet.

Feuchter Lehm lässt sich sehr plastisch formen und verbindet sich als Lehmpulver optimal mit anderen Stoffen. Des Weiteren besitzt Lehm die Fähigkeit Wasser aufzusaugen, wenn er nicht gesättigt ist, welches er dem Samen für die Keimung zur Verfügung stellen kann. Trockener Lehm kann sehr hart werden und bildet somit eine gute Schutzhülle um das Saatgut vor Prädatoren zu schützen. Bei starkem Regen verhindert Lehm, dass der Samen freigeschwemmt und für den Verzehr freigegeben wird.

Wenn der Seedball den richtigen Wassergehalt erlangt, gewinnt Lehm sogleich seine plastischen Qualitäten zurück und kann durch die Keimlinge durchwachsen werden (vgl. Delfau 2012).

Fukuoka gibt an ausschließlich roten Lehm zu verwenden. Aus ökologischen Gründen wurde für dieses Experiment jedoch regional verfügbares braunes Lehmpulver aus Bad Erlach in Niederösterreich verwendet.

### **5.5.2 Humus**

Humus wird durch die Zersetzung von organischem Ausgangsmaterial wie Blättern, Holz, Zweigen, Wurzeln und Nadeln gebildet, das zu Boden fällt oder dort schon vorhanden ist.

Die Zersetzung erfolgt über das Edaphon was die lebenden Organismen im Boden beschreibt, zu denen auch Wurzeln zählen. Durch seine große Oberfläche besitzt Humus die Eigenschaft organische wie auch anorganische Stoffe zu absorbieren, hat aber gleichzeitig auch hydrophobe Wirkung. Durch die Mineralisierung der Pflanzenteile stellt er die wesentliche Nährstoffquelle für Pflanzen dar. Die organische Substanz des Bodens Kohlenstoff C- ist das Habitat der Bodenlebewesen. Humus enthält die beiden wichtigen Nährstoffe Stickstoff und Phosphor, welche der Pflanze für ihr Wachstum zur Verfügung stehen (vgl. Kögel-Knabner 2008).

### **5.5.3 Rohböden – Definition**

Rohböden sind Böden der terrestrischen Aufschüttung oder Abtragung, sowie Rigosole, die ohne eine natürliche Entwicklung von Bodenhorizonten entstanden sind. Sie zeigen sich zumeist durch vegetationsloses, oberbodenfreies Substrat, bei denen kein Humus vorhanden ist, Nährstoffarmut herrscht und geringe biologische Aktivität vorhanden ist (vgl. Kirmer, Tischew 2006).

## 5.6 Forschungsfragen und Hypothesen

Ziel der Arbeit ist es eine Methode zur naturnahen Begrünung zu prüfen, um herauszufinden, ob sie verwendet werden kann, um zur Renaturierung von Rohböden durch standortangepasste Zielarten beizutragen und eine ökologische Aufwertung der Flächen zu bewirken.

Die Ergebnisse sollen folgende Forschungsfragen beantworten können:

1. Forschungsfrage: Inwiefern stellt die Verwendung von Seedballs eine brauchbare Methode dar, um Rohböden erfolgreich wieder zu begrünen?
  - a. Hypothese: Großsamige Arten eignen sich besser zur Verwendung in Seedballs, da sie die Barriere des Mantels des Seedballs leichter überwinden können, um mit den Keimblättern an die Oberfläche zu gelangen.
2. Forschungsfrage: Inwiefern stellt das Substrat des Seedballs einen Keimungsvorteil gegenüber nacktem Saatgut dar?
  - a. Hypothese: Keimlinge in Seedballs benötigen etwas länger, um an die Oberfläche zu geraten als nacktes Saatgut, haben jedoch einen Wasser- und Nährstoffvorteil.
3. Forschungsfrage: Worin bestehen die Unterschiede der verschiedenen Arten in der Aufbereitung als Seedball? (z.B. in Abhängigkeit von Samengröße/Gewicht)?
  - a. Hypothese: Je kleiner das Saatgut, desto geringer ist die Chance der Arten sich durch Seedballs zu etablieren und mit den Keimblättern an die Oberfläche zu gelangen.
  - b. Hypothese: Durch das Konglomerat an verschiedenen Samen wird der Samenball bei einer gleichzeitigen Keimung aller Samen gesprengt. Risse treten auf, Licht fällt ins Innere und eine gleichzeitige Keimreaktionen ist festzustellen.

## 6 Mischungsverhältnisse & Erosion (Pretest)

Die folgende Tabelle zeigt die erprobten Mischverhältnisse zwischen Humus und Lehm. Hierbei wurden Verhältnisse angestrebt, bei denen der Lehm stets weniger vorhanden ist als Humus um die Erosion zu erhöhen und ein Hartbacken des Lehmes zu verhindern. Die Empfehlungen aus der Literatur gehen hier stark auseinander, weswegen es sich bei folgenden Mischverhältnissen um erste Versuche handelt.

Bei starkem anhaltendem Regen in Regenzeiten wird empfohlen einen höheren Lehmanteil zu wählen, da die Samen so vor Erosion geschützt bleiben und nicht ausgespült werden. In tropischen Regionen mit langen Regenereignissen sollte ein Verhältnis von 3:5 Humus zu Lehm verwendet werden.

In gemäßigten Klimazonen mit kürzeren Regenzeiten sollte ein geringerer Lehmanteil und höherer Humusanteil verwendet werden, um die Samen länger vor Verschleppung und Tierfraß zu schützen.

Bei den nun hergestellten Verhältnissen zeigen jene Seedballs mit dem höchsten Humusanteil (4:3, 6:1) bei einer Beregnung mit Gartenschlauch und Zerstäuber aus einer Höhe von 1,5 m die schnellste Erosion. Je geringer der Humusanteil, desto länger dauert das Einsetzen der Erosion. Die Geschwindigkeit der Saugwirkung variiert hier ebenfalls. Je höher der Lehmanteil desto langsamer das Eintreten der Saugwirkung.

Nach der Erprobung der verschiedenen Verhältnisse, wurde für den Versuch nun das Verhältnis 2:1 gewählt.

**Tabelle 1** Eigene Darstellung Pretest

Mischungsverhältnisse und deren Eigenschaften

Mischverhältnisse Humus/Lehm	Eigenschaften	Zeit bis zur Erosion	Feuchtigkeit im Inneren	
4:3	Zerbrechlich, saugt +, erodiert +, nass mäßig weich	3:06 Min	trocken	
2:1	Unzerbrechlich, saugt +, erodiert +, nass weich	4:19 Min	leicht trocken	
1:1	Unzerbrechlich, saugt -, erodiert +, glatt, nass mäßig weich	7:27 Min	trocken	
6:1	Zerbrechlich, saugt+++, rau, nass sehr weich	2:14 min	feucht	
3:1	Mäßig zerbrechlich, saugt ++, glatt, nass mäßig weich	4:05 min	feucht	

Je nach Region, Wetterkapriolen, Aussaatzeit sowie verwendeten Pflanzensamen und Samenballgröße sollte das Mischverhältnis angepasst werden.

## 7 Methode

Der Versuch fand im Garten der Universität für Bodenkultur in Wien Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien, von 28. April bis 29. September 2019 statt.

Auf einer Fläche von 50m<sup>2</sup> wurden 88 je ¼ m<sup>2</sup>-große Keimschalen aufgestellt. 40 dieser Schalen wurden mit jeweils 5 Samenbällen versehen, die aus einer Höhe von 1,50 m ins Substrat fallen gelassen wurden. Die anderen 40 Schalen wurden mit nacktem Saatgut versehen. 8 Schalen wurden ohne Saatgut platziert, um als Kontrollschalen zu dienen. Das Saatgut setzte sich aus folgenden Sorten zusammen, hier der Größe nach geordnet:

**Tabelle 2** Eigene Darstellung Saatgutwahl und Gewichtsstaffelung

Tausendkorngewicht - Klasse	botanischer Name		Tausendkorngewicht
~0,2 g	<i>Campanula rapunculoides</i>	Acker-Glockenblume	0,2 g
	<i>Achillea millefolium</i>	Gewöhnliche Schafgabe	0,2 g
~1,2 g	<i>Leontodon hispidus</i>	Rauher Löwenzahn	1,1 g
	<i>Festuca rubra</i>	Rotschwingel	1,2 g
	<i>Dianthus carthusianorum</i>	Krauthäuser Nelke	1,2 g
	<i>Centaurea jacea</i>	Wiesen-Flockenblume	1,53 g
~2,4 g	<i>Salvia pratensis</i>	Wiesensalbei	2,4 g
	<i>Arrhenatherum elatius</i>	Glatthafer	2,8 g
	<i>Anchusa officinalis</i>	Echte Ochsenzunge	4 g
	<i>Knautia arvensis</i>	Acker-Witwenblume	5,5 g

Das nackte Saatgut pro Schale entsprach genau dem Samengewicht der Menge, jeder Art, die in einem Samenball enthalten war, multipliziert mit 5, auf Grund der fünf Samenbälle.

Die Keimschalen wurden abwechselnd angeordnet, um unterschiedliche Einflüsse von Exposition, Niederschlag und Randabstand auszugleichen.

acht Kontrollschalen ohne Saatgut und Seedballs wurden wahllos angeordnet, um den Sameneintrag von außen zu ermitteln. Die Keimchalen enthielten ein Gemisch aus zwei Teilen Grünkompost ((pH-Wert  $\text{CaCl}_2$ : 5,0-7,0; Salzgehalt  $\text{KCl}$ : <3 g/L; Stickstoff (N) 100-500mg/l  $\text{CaCl}_2$ ; Phosphat ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 200-800 mg/l CAL; Kalium K20 400-200 mg/l (CAL)) und einen Teil Kies. Diese Schalen waren in 60 cm hohen Holzkästen mit Sandboden angeordnet, auf denen die Schalen in direktem Bodenkontakt standen.



## 8 Saatgut Wahl

Wenn die Umweltbedingungen innerhalb der richtigen Parameter liegen, reagiert der Embryo im Samen und fängt an zu keimen. Dass diese Parameter auch dazu führen, dass nicht-heimische Arten an Standorten keimen, an die sie eigentlich nicht hingehören, kann zu Problemen führen. Das kann so weit gehen, dass eingewanderte Arten heimische Arten verdrängen und deren Wachstum unterbinden (vgl. Stinson et al. 2006). Deswegen ist es von äußerster Wichtigkeit, nur Pflanzensamen zu verwenden, die in der zu begrünenden Region vorzufinden sind oder Arten zu verwenden, von denen bekannt ist, dass sie an diesem Standort vorkommen. Dies erfolgt durch eine Analyse der Standortbedingungen (Substrat, Relief, Exposition, Wasserhaushalt, Erosionsgefährdung) und Nutzungsziele, in Absprache mit regionalen Experten sowie durch eine vorangehende Literaturrecherche standorttypischer Zielgesellschaften, in Abwägung der zu verwendenden Ressourcen im gebietseigenen Saatgut, sowie der Artenlisten und dem Planen von Mischverhältnissen (vgl. Kirmer, Tischew 2006).

**Abbildung 1** Eigene Darstellung Versuchsbeginn

## 9 Quantitative Herstellungsmethoden

Diese Methode der Herstellung wurde gewählt, um nachzuvollziehen wie viel Saatgut in einem Ball vorhanden ist. Masanubu Fukuoka erwähnt zwei weitere Methoden, die geeignet sind, um Seedballs in großen Mengen herzustellen.

**Methode 1.:** Diese Methode besagt, dass die Komponenten trocken gemischt werden, wobei das Saatgut ebenfalls schon hinzugefügt wird. Nach der Zugabe von Wasser wird die Masse gut durchgeknetet. Anschließend wird sie ausgerollt oder von oben durch einen engmaschigen Hasendraht gepresst. Die so entstandenen Pellets werden folgend in der Sonne getrocknet (vgl. Fukuoka 2012).

**Methode 2.:** Die Komponenten werden trocken gemischt und in eine Kiste gelegt. Mit einem Wasserzerstäuber wird nun langsam und unter ständigen kreisenden Bewegungen der Kiste Wasser aufgetragen. Durch die verklumpenden Eigenschaften von Lehm bilden sich Kugeln, die dann abgeschöpft werden können. Anschließend wird dieser Prozess solange wiederholt, bis keine Masse mehr vorhanden ist und die Komponenten nachgefüllt werden müssen (vgl. Fukuoka 2008).

In einer weiteren Methode wird mit Hilfe einer Maschine, der „rotating pan“ den Samen ein coating verabreicht. In eine sich drehende motorisierte Pfanne wird Lehm, Saatgut und feiner Humus hinzugefügt und mit einem Wasserzerstäuber auf die Mischung gesprüht. Der Lehm verklumpt und bildet Bälle um die Samen. Durch die Reibung aneinander wird die Oberfläche geglättet und die Größe des Coating bestimmt. Eine billigere Alternative stellt eine Betonmischmaschine ohne Mischeisen dar (Perdrini et al. 2017).

Hiermit können Seedballs aus Lehm und Humus ebenfalls erfolgreich, kostensparend und in großer Anzahl für viele Hektar hergestellt werden.

Um den bekannten Methoden noch eine hinzuzufügen, kann ein Teig in gewünschtem Verhältnis aus Lehm, Humus und Wasser hergestellt werden. Dieser Teig wird auf einer glatten Oberfläche ausgerollt, bis er eine Stärke von 2-3 cm erreicht.

Mit einem Gitter mit einer Maschengröße von 3 cm werden anschließend einzelne Pellets ausgestochen. Diese Pellets besitzen keine runde Form und können auch dann eingesetzt werden, wenn in einem Gefälle gesät wird, da sie nicht weit rollen. Auf flachem Boden kann mehr Bodenkontakt hergestellt werden.

## 9.1 Seedballs

Die Seedballs bestehen aus einem Verhältnis 2:1 Humus:Lehm. Es gibt mehrere verschiedene Ansätze wie sich das Mischungsverhältnis gestalten soll. So wird im guerilla gardening ein Verhältnis von 1:5 Humus:Lehm verwendet (vgl.:Reynolds 2009). Da dieser Versuch aber darauf abzielen soll, den Keimlingen einen Nährstoffvorteil zu verschaffen, wurden verschiedene Verhältnisse eigens getestet. (siehe Kap. 6)

Es sollte ein Verhältnis gefunden werden, das den Seedball weich hält und in dem der Lehm nicht zu hart bückt, wenn die Sonne darauf scheint und in dem ausreichend Humus vorhanden ist, um für eine leichte Initialdüngung zu sorgen. Der Ball sollte eine gute Wasserhaltefähigkeit besitzen, bei gleichzeitig hoher Saugfähigkeit aber hart genug sein, um Tiere davor abzuhalten, die Samen zu fressen und gleichzeitig weich genug sein, um den Keimlingen eine Möglichkeit zu bieten, an die Oberfläche zu dringen.

Mit dem Verhältnis 2:1 Humus:Lehm wurde versucht, die benötigten Eigenschaften zu kombinieren:

- Ein höherer Humusanteil ergibt einen lockeren Samenball
- Höherer Nährstoffgehalt pro Ball
- Dadurch stärkere Keimlinge
- Gute Wasserhaltekapazität
- Versorgungspaket für späteres Wachstum
- Verspätete Erosion des Balles (erst bei der Keimung der Samen)

Die oben genannten Arten wurden von Rieger-Hofmann GmbH <https://www.rieger-hofmann.de> bestellt und händisch abgezählt (ca. 50.000 Stk.) damit erfasst werden kann, wie viele Samen welcher Art in einem Samenball vorhanden sind. Die einzelnen Arten wurden in Einheiten kombiniert und in Caps aufbewahrt. Dies geschah für jede Art 200 Mal, da 200 Samenbälle für den Versuch benötigt wurden.

Folgende Tabelle zeigt eine Auflistung der Menge an Samen pro Ball pro Art.

Tabelle 3 **Eigene Darstellung Samenanzahl/Seedball**

Tausendkorngewicht	Samen/Ball	botanischer Name	
~0,2 g	60 Stk.	<i>Campanula rapunculoides</i>	Acker-Glockenblume
	30 Stk.	<i>Achillea millefolium</i>	Gewöhnliche Schafgabe
~1,2 g	20 Stk.	<i>Leontodon hispidus</i>	Rauher Löwenzahn
	20 Stk.	<i>Festuca rubra</i>	Rotschwingel
	20 Stk.	<i>Dianthus carthusianorum</i>	Krauthäuser Nelke
	20 Stk.	<i>Centaurea jacea</i>	Wiesen-Flockenblume
~2,4 g	20 Stk.	<i>Salvia pratensis</i>	Wiesensalbei
	20 Stk.	<i>Arrhenatherum elatius</i>	Glatthafer
	5 Stk.	<i>Anchusa officinalis</i>	Echte Ochsenzunge
	5 Stk.	<i>Knautia arvensis</i>	Acker-Witwenblume

Für die kleinsamigen Arten mit einem Tausendkorngewicht von  $\sim 0,2$  g wurde eine Feinwaage verwendet. Alle anderen Arten wurden händisch abgezählt. Die einzelnen Caps pro Seedball wurden dann gekühlt verwahrt, bis der Versuch vorbereitet werden konnte.

Um die genaue Anzahl an Samen pro Ball zu bestimmen, wurden die Seedballs händisch hergestellt. Zuerst wurde die Masse aus Humus und Lehm vorbereitet und dann die Samen eingeknetet.



**Abbildung 2** Eigene Darstellung. Zählen des Saatgutes und Portionierung in 200 Caps

Zur Herstellung der Masse wurden zwei

Teile Humus und ein Teil Lehm-pulver verwendet. Diese Komponenten wurden in einer Schale gut vermischt, bis eine gleichmäßige Farbe zu erkennen war. Dann wurde ein Teil Wasser unter ständigem Kneten hinzugefügt. Die Erden wurden so lange gemischt bis eine gleichmäßige Masse entstanden war. Nun wurde das Saatgut eines Caps auf einen sauberen weißen Teller ausgebracht und in die Masse eingeknetet und dann mit den Handflächen zu einer Kugel mit einem Durchmesser von 3-3,5 cm gerollt. Diese Kugeln wurden anschließend zwei Tage lang in der Sonne getrocknet bis sie sich grau verfärbten und nicht mehr zerbrochen werden konnten, danach für eine Woche in einem Papiersack aufbewahrt, um sicherzustellen, dass keine frühzeitige Keimung auftreten kann.

## 10 Keimfähigkeitsanalyse und TTC-Analyse

Eine Keimfähigkeitsanalyse des Saatgutes wurde in Petrischalen auf Papierbögen im Keimschrank durchgeführt. In diesem werden die Tag- Nachtbedingungen bei einer Temperatur von  $17\text{ C}^\circ$  bis  $21\text{ C}^\circ$  simuliert. Das gekeimte Saatgut wurde im Abstand von 2-4 Tagen abgezählt und entfernt bis kein Keimverhalten mehr zu beobachten war.

Das nicht-gekeimte Saatgut wurde dann mit 1 %-iger 2,3,5-Triphenyltetrazoliumchlorid, kurz TTC-Lösung, beträufelt. Weiters wurden die Petrischalen in Alufolie eingewickelt und in Dunkelheit 24 Stunden bei  $21\text{ C}^\circ$  in den Keimschrank gestellt. Bei Eindringen der farblosen Lösung in die Diasporen wird sie durch  $\text{NADH}+\text{H}^+$  (Nicotinamidadeninukleotid-Dehydrogenase) reduziert, woraus Formazan entsteht. Dies bewirkt die Rotfärbung der lebensfähigen Zellen (vgl. Partzsch 2015). Bei einer Rotverfärbung herrscht somit noch Zellaktivität und der Embryo könnte sich noch entwickeln. Deswegen werden in folgender Tabelle zwei Werte angegeben, die dann mit den Ergebnissen der Keimfähigkeitsanalyse der Samenbälle verglichen werden.

**Tabelle 4** Eigene Darstellung Keimfähigkeit

29.5.2019 – 19.6.2019	Samenanzahl	gekeimte Samen	Keimfähigkeit in %	TTC-Test	Gesamt in %
<i>Campanula rapunculoides</i>	200	175	<b>87,50 %</b>	0	<b>87,50 %</b>
<i>Achillea millefolium</i>	200	177	<b>88,50 %</b>	0	<b>88,50 %</b>
<i>Leonthodon hispidus</i>	100	85	<b>85,00 %</b>	0	<b>85,00 %</b>
<i>Festuca rubra</i>	100	73	<b>73,00 %</b>	7	<b>81,00 %</b>
<i>Dianthus carthusianorum</i>	200	155	<b>77,50 %</b>	5	<b>80,00 %</b>
<i>Centaurea jacea</i>	100	45	<b>45,00 %</b>	7	<b>52,00 %</b>
<i>Salvia pratensis</i>	100	29	<b>29,00 %</b>	24	<b>53,00 %</b>
<i>Arrhenatherum elatius</i>	100	47	<b>47,00 %</b>	28	<b>75,00 %</b>
<i>Anchusa officinalis</i>	100	29	<b>29,00 %</b>	11	<b>40,00 %</b>
<i>Knautia arvensis</i>	100	38	<b>38,00 %</b>	13	<b>51,00 %</b>



**Abbildung 3** Eigene Darstellung

*Salvia pratensis* Samen nach der Behandlung mit 1 % TTC-Lösung zeigen Rot-Verfärbungen.

Bei den grauen Verfärbungen handelt es sich um Schimmelwachstum.

## 11 Aufnahme & Auswertung

Aufgenommen wurden die Daten mit Listen, die den Deckungsgrad jeder einzelnen Art in jeder Schale von Kontrollschalen, Seedballs und nacktem Saatgut erfassten. Die geschätzte Gesamtdeckung pro Schale wurde ebenfalls ermittelt, anhand welcher der prozentuelle Anteil der jeweiligen Art pro Schale geschätzt wurde. Diese Listen wurden anschließend in Excel-Tabellen übertragen und ausgewertet.

Es wurden insgesamt zwei Aufnahmen gemacht. Eine fand Ende Juli statt und die zweite Mitte September.

### 11.1 Deskriptive Statistik:

Arten die zwar gekeimt hatten, deren Größe aber  $< 1\%$  war, wurden mit  $0.1\%$  erfasst.

Diese Werte wurden in Tabellen übertragen und dann mit Hilfe der Statistik Software RGui anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet und in einem Boxplot grafisch dargestellt.

Die p-Werte wurden ermittelt und in eine Tabelle eingetragen. Die Signifikanzniveaus jeder einzelnen Art wurden eingetragen und kenntlich gemacht, welches Treatment (seedball oder direct seeding) für welche Art und Samengröße am besten geeignet war.

Alle Ergebnisse wurden zusätzlich in einem Balkendiagramm veranschaulicht, das mit Excel erstellt wurde.

## 12 Die Glatthaferwiese

Bei dem in diesem Versuch verwendeten Saatgut handelt es sich um Arten, die in Glatthaferwiesen gefunden werden können. Da der Versuch darauf abzielt mittels Seedballs auf Rohböden diesen besagten Wiesen-Typ wiederherzustellen soll hier noch kurz darauf eingegangen werden.

Bei Glatthaferwiesen handelt es sich um eine mehrschichtige Pflanzengesellschaft, bei der Glatthafer in der Oberschicht zu finden ist und Rosettenkräuter in der Unteren (vgl. Mertz 2000).

Die Artenzusammensetzung dieses Versuchs stellt sich aus zwei Typen der Glatthaferwiese zusammen, nämlich der typischen Glatthaferwiese und der trockenen Glatthaferwiese.

Unter der typischen Glatthaferwiese versteht man eine feuchte bis dezent trockene, locker strukturierte, gut mit Nährstoffen versorgte Wiese unterhalb der 500 m Meereshöhe auf mittel bis tiefgründigen Braunerde Böden. Hierbei handelt es sich um hochwachsende Wiesen zur Heugewinnung die auch in Streuobstwiesen vorkommen und das Landschaftsbild bereichern.

Die trockene Glatthaferwiese (Salbei-Glatthaferwiese) ist wärmeliebend, trocken bis dezent trocken oder wechselnd trocken. Teilweise ähnelt sie den Halbtrockenrasen. Sie liegt unter 500 m Meereshöhe, auf Braunerde, sowie auf pararendzina-ähnlichen Aueböden. Die Böden sind durchlässig mit geringem Niederschlag (vgl. Briemle et al. 1991).

## 13 Steckbriefe verwendeter Pflanzen

### 13.1.1 *Campanula rapunculoides* Campanulaceae - Wiesen-Glockenblume

„**Merkmale:** Wurzelkriech-Pionier,  
Licht-Halbschattenpflanze, Insektenbestäubung.  
30-80 cm hoch Hemikryptophyt“ (Oberndorfer 2001)

„**Blätter:** Untere Stängelblätter mit seicht-herzförmigen bis  
abgerundetem Spreitgrund; Stängel stumpfkantig, kahl bis  
kurz-rauhaarig

„**Blüte:** Blüte nickend, einseitwendig; Blütenstand Traube,  
meist verzweigt, Krone 2-3,5 cm lang bis fast zur Mitte  
gespalten.“ (Fischer, Adler, Oswald 2008)



**Abbildung 4** *Campanula rapunculoides*  
Darstellung von Sturm Jacob (1796)

„**Früchte:** Hängende Porenkapseln, mit klappigen Öffnungen an der Basis, die sich bei  
Nässe schließen.

Tier- und Windstreuer. Sehr leichten Samen als Körnchenflieger ausgebreitet.“ (Düll,  
Kutzelnigg 2016)

„**Standort:** Säume sonniger Büsche, in lichten Laub- und Kiefernwäldern, an Wald- und  
Wegrändern und Äckern, bevorzugt in halbschattigen, trockenen bis frischen Standorten.  
Zumeist auf nährstoffreichen, meist kalkhaltigen, humosen, mittel bis tiefgründigen Lehm-  
und Lößböden, Ebene bis mittlere Gebirgslagen.“ (Oberndorfer 2001)

Diese besonders kleinsamige Art wurde gewählt um das Verhalten von 0,2  
g/Tausendkorngewicht großen Art zu testen. Die Samen sind winzig und haben eine  
Körnung ähnlich wie Staub.

### 13.1.2 *Achillea millefolium* L– gemeine Schafgarbe

„**Merkmale:** Blühzeit ist von Juni bis Oktober, 15-50 cm hoch und ausdauernd.

**Laubblätter:** Langzettlich bis lineal langzettlich und bis zur Mittelader 2-3-fach fiederteilig mit jederseits bis 50 Abschnitte, Abschnitte letzter Ordnung mit schmal lanzettlichen Zipfeln; sterile Blattrosette vorhanden.

**Blütenstand:** Vielköpfige und doldenartig geformte Traube, Köpfchen mit vielen braun berandeten und bis 6 mm langen Hüllblättern.

**Blüten:** Zungenblüten weiss oder rosa, weiblichen Geschlechts und nach der Blütezeit nur wenig nach unten gebogen, Röhrenblüten weisslich und zwittrig

**Früchte:** Achänen bis 2 mm lang, flach, eiförmig und ohne gezähnten Rand.

**Standort:** von der kollinen bis in die subalpine Stufe in Fettwiesen, Weiden, Äckern, Erdanrissen, Sandrainen und entlang von Wegen auf frischen bis mässig trockenen, nährstoffreichen, meist sandigen, steinigen oder reinen Lehmböden.“

(Godet 2004)

Diese kleinsamige Art wurde gewählt um das Verhalten einer 0,2 g/Tausendkorngewicht schweren Art zu beobachten. Sie gilt als sehr ausdauernd und krautig, weswegen interessant ist ob die Pflanze ihre Zähigkeit auch in der Keimung durch Seedballs beweisen kann.



**Abbildung 5** *Achillea millefolium*  
Sturm Jacob (1796)

### 13.1.3 *Leontodon hispidus* - streifhaariger Löwenzahn

„**Merkmale:** von Juni bis August blühend, 10-50 cm hoch und ausdauernd

**Laubblätter:** Grundständige lanzettlich bis schmal oval, in den Stiel verschmälert, am Ende stumpf oder abgerundet, ganzrandig oder buchtig gezähnt und aufrecht oder dem Boden aufliegend; stängelständige nur schuppenförmig ausgebildet.

Blütenstand: Meist einköpfig, Hüllblätter 10-20 mm lang, kurz anliegend behaart und innerseits an der Spitze gekräuselt behaart.

**Blüten:** Alle zungenförmig und zwittrig; die 5 Kronblätter zu einer hellgelben Zunge verwachsen; Staubblätter 5; Fruchtknoten unterständig.

Früchte: Achänen bis 8 mm lang, 12-18-rippig und mit einem gelblichweissen Pappus.



**Abbildung 6** *Leontodon hispidus* Lindman Carl Axel Magnus (1901)

**Standort:** Von der kollinen bis in die subalpine Stufe in Wiesen, Weiden, lichten Wäldern, Halbtrockenrasen, Moor- und Nasswiesen und im Felsschutt auf frischen, mehr oder weniger nährstoff- und basenreichen und humosen Lehm- und Tonböden.“ (Godet 2004)

Die langen dünnen Samen dieser Art haben ein Tausendkorngewicht von 1,1 g. Hier ist interessant zu beobachten, ob sie durch ihre Form in der Verarbeitung gelitten haben oder sich ebenso gut etablieren können wie ovale oder runde Samen.

Sie stellt einen klassischen Vertreter in Glatthaferwiesen dar (vgl. Mertz 2000).

#### 13.1.4 *Festuca rubra* - gewöhnlicher Rotschwengel

„**Merkmale:** Ausdauernd; 20 bis 100 cm hoch. Halm steif aufrecht; wächst dicht-rasig, guter Bodenbefestiger und Rasenbildner, für Dünger sehr dankbar, gutes Futtergras, wird zur Begrünung von Sandflächen und Bergweiden. Pflanze dicht- bis lockerrasig, mit Ausläufern, Ährchen oft rötlich getönt.

**Blätter:** Grundblätter meist dickborstlich gerollt, Halmblätter meist flach, alle mattgrün oder bläulich überlaufen, Blatthäutchen sehr kurz, seitlich mit vergrößerten Lappen.

**Blüte:** Rispen meist aufrecht, locker, wenig verzweigt, mit zur Blüte meist abstehenden Ästen. Ährchen 4 – 6-blütig, 7 bis 10 mm lang, länglich. Hüllspelzen kürzer als das Ährchen, wie die Deckspelzen meist kurzgrannig. Blütezeit 6-8.



**Abbildung 7** *Festuca rubra*  
Sturm Jacob (1796)

**Standort:** von Tiefland bis ins Hochgebirge; auf Weiden und Wiesen, an Wegen und in lichten Wäldern. Sehr formreich, aber alle Rassen mehr oder minder stickstoffliebend und (mäßig) feuchte, neutrale bis schwach saure Böden bevorzugend. Hauptverbreitung in der Berg- und Mittelgebirgsregion. Gemäßigte Zone der Nordhalbkugel.“ (Aichele, Schwegler 2011)

Bei dieser Gräserart mit einem Tausendkorngewicht von 1,2 g ist interessant zu beobachten, wie sie sich durch die Barriere des Substrats des Seedballs bohrt und ob sie Schwierigkeiten damit hat.

### 13.1.5 *Dianthus carthusianorum* - Karthäuser-Nelke

„**Merkmale:** Wintergrüner Chamaephyt, 15-45 cm hoch, mit Trockenheitsanpassungen: dichtrasig; derbe, linealische, wachsbereifte Blätter, Rhizom kriechend und tiefreichend.“ (Godet 2004)

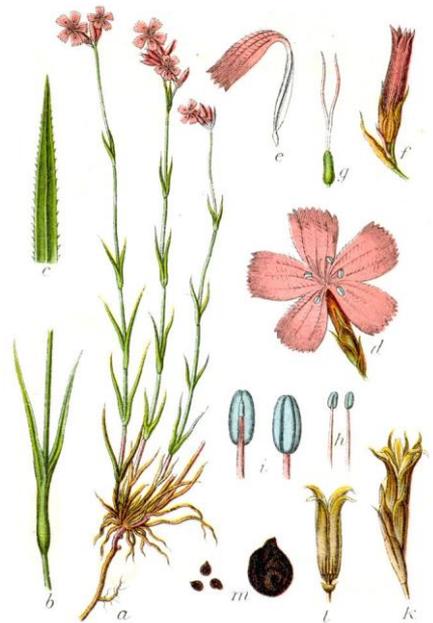
„**Laubblätter:** Die gegenständig am Stängel angeordneten Laubblätter sind am Grund scheidig verwachsen. Die Blattscheide ist mit einer Länge von bis zu 15 Millimetern etwa viermal so lang wie die Blattbreite. Die einfache Blattbreite ist schmal-linealisch.“ (Oberndorfer 2001)

„**Blüten:** Die Blütezeit reicht von Juni bis September. 7 bis 15 Blüten befinden sich in einem endständigen, köpfchenförmigen Blütenstand. Die Hochblätter und der Kelch sind braun und lederartig-trockenhäutig. Die zwittrigen Blüten sind radiärsymmetrisch und fünfzählig. Die purpurfarbene Krone besitzt einen Durchmesser von etwa 2 bis 2,5 Zentimetern. Die Kronblätter sind vorne gezähnt.“ (Oberndorfer 2001)

„**Früchte:** Länglich-becherförmige Kapseln. Bei Trockenheit öffnen sie sich durch 4 nach außen gekrümmte Zähne, im feuchten Zustand schließen sie sich wieder. Wind- und Tierstreuer. Samen flach, schalenartig geflügelt: Regenschwemmlinge und Wasserhafter. Lichtkeimer.“

**Standort:** Magerrasen, Felsspalten und Böschungen, auf warmen, trockenen, meist kalkreichen Böden. Im Norden selten. Gefährdet, u.a. durch Rückgang der Schafweide. Geschützte Art.“ (Düll, Kutzelnigg 2016)

Mit einem Tausendkorngewicht von 1,2 g liegt das Samengewicht im Mittelfeld. Ihr dichtrasiger Wuchs dürfte zu einem interessanten Konkurrenzverhältnis mit den Gräsern führen.



**Abbildung 8** *Dianthus carthusianorum* Jacob Sturm (1796)

### 13.1.6 *Centaurea jacea* – gemeine Wiesenflockenblume

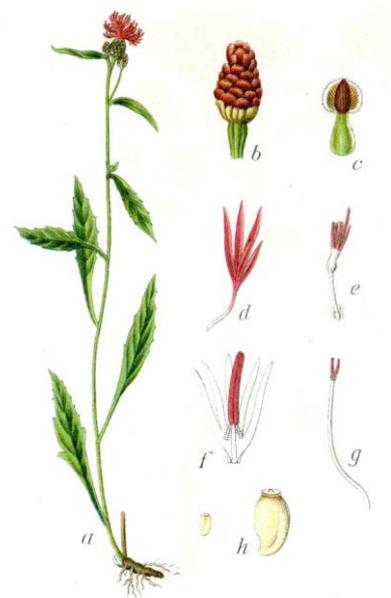
„**Merkmale:** Von Juni bis September blühend, 10-50 cm hoch, mit kantigen Stängeln und ausdauernd.

Laubblätter: Untere lanzettlich bis oval, stumpf, abgerundet oder kurz zugespitzt, in kurzen Stiel verschmälert, ganzrandig, fein gezähnt oder besonders im unteren Spreitenteil unregelmässig fiederteilig; obere Stängelblätter lanzettlich bis schmal oval, sitzend und meist zugespitzt.

**Blütenstand:** Köpfe einzeln am Ende der Zweige.

Blüten: Röhrenförmig und die randständig vergrößert, Kronblätter 5, verwachsen, purpurn; Staubblätter 5, Fruchtknoten unterständig, gute Bienenweide.

Früchte: Achänen bis 3 mm lang, ohne Pappus.



**Abbildung 9** *Centaurea jacea*  
Sturm Jacob (1796)

**Standort:** Von der kollinen bis in die subalpine Stufe in

Wiesen, Magerrasen, Weiden, Hecken und auf Schuttplätzen auf mässig frischen bis mässig trockenen, nährstoff- und basenreichen, meist tiefgründigen, humosen und kalkhaltigen Böden.“ (Godet 2004)

Die sehr robust wirkenden Samen dieser Art mit einem Tausendkorngewicht von 1,52 g sollten sich gut für die Verwendung in Seedballs eignen, da sie kräftige Embryos beinhalten, die die Barriere gut überwinden könnten.

Sie stellt eine dominante, auffällige Art in der typischen Glatthaferwiese dar (vgl. Briemle et al. 1991).

### 13.1.7 *Salvia pratensis* L. Wiesen-Salbei –

„**Merkmale:** Von Mai bis August blühend, 30-40 cm hoch und ausdauernd.

**Laubblätter:** Grundständige oval bis eiförmig, am Spreitengrund schwach herzförmig, am Ende zugespitzt oder stumpf, grob und unregelmässig gezähnt, beiderseits behaart oder auch kahl und in einer Rosette vereinigt; stängelständige und ungestielt.

**Blütenstand:** Mehrere übereinanderliegende 4-8-blütige und quirlige Teilblütenstände.

**Blüten:** Kelchblätter 5, röhrig gewachsen, geadert, dunkel rötlichbraun, 8-12 mm lang, abstehend behaart und 2-lippig; Kronblätter 5, violett und 2-lippig; Staubblätter zu 2; Fruchtknoten oberständig und aus 2 Fruchtblättern verwachsen.

Früchte: Spaltfrüchte; in 4 Teilfrüchte zerfallend.

**Standort:** In der kollinen und montanen Stufe an Böschungen, Dämmen, in Halbtrockenwiesen, warmen Fettwiesen und entlang von Wegen auf mässig frischen bis trockenen, meist kalkhaltigen, humosen und lockeren Lehmböden.“ (Godet 2004)

Bei einem Tausendkorngewicht von 2,4 g hat diese Art schwarze runde harte Samen. Sie zählt zu einem klassischen Vertreter von trocken Glatthaferwiesen (vgl. Briemle et al. 1991) und ist deshalb gut für diesen Versuch geeignet.

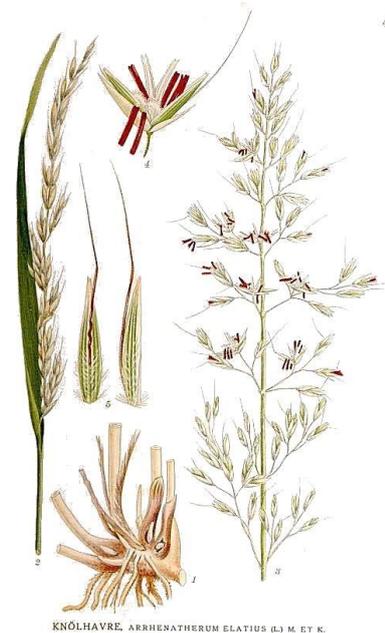


**Abbildung 10** *Salvia pratensis*  
Step Edward (1895)

### 13.1.8 *Arrhenatherum elatius* – französischer Glatthafer

„**Merkmale:** Ausdauernd, in lockeren Horsten, 60 bis 150 cm hoch. Halm aufrecht oder unten schwach knickig, auch an den Knoten meist kahl, selten schwach behaart.

**Blatt:** Blattscheiden kahl (=glatt!), selten schwach behaart. Spreiten 4 bis 8 mm breit, rau, grau bis gelbgrün, oft mit einzelnen Haaren. Blatthäutchen um 3 mm lang. Rispe zur Blütezeit locker ausgebreitet, bis 25 cm lang. Äste wenig verzweigt. Ährchen bis 1 cm lang, oval, weißlichgrün, selten violett überlaufen, eigentlich 3 blütig, aber nur 1 Blüte zwittrig, die untere männlich, die oberste verkümmert. Hüllspelzen nahezu so lang wie das Ährchen, Deckspelzen begrannt. Granne gekniet und gedreht (an der oberen, zwittrigen Blüte fehlend oder stark verkürzt), überragt das Ährchen etwa um seine Länge (arrhen = männlich, atheros = Granne, nur die



KNÖLHAVRE, *ARRHENATHERUM ELATIUS* (L.) M. ET K.

**Abbildung 11** *Arrhenatherum elatius* Lindman Carl Axel Magnus (1917)

männliche Blüte trägt eine wohlausgebildete Granne). Blütezeit 6-7. Sehr häufig; auf Wiesen und an Rainen, auch in lichten Wäldern; selten über 1000m aufsteigend. Durch Aussaat weit verbreitet. Liebt nährstoffreiche (gedüngte), trockene bis schwach feuchte, warme mittelschwere Böden. Charakterart des Verbandes der Fettwiesen. (*Arrhenatherion elatioris*). Von Europa aus weltweit verschleppt.

Wertvolles Mährgras (liefert 2 bis 3 Schnitte), dessen Wildformen oft ertragreicher als die Zuchtsorten sind. Erstere sind als Grünfutter allerdings etwas bitter und werden so vom Vieh nicht gern gefressen. Eine Rasse (Kennzeichen: unterirdische, knollig-perlschnurartig verdickte Halmglieder) ist ein lästiges Ackerunkraut, gedeiht aber in Wiesen nicht.“ (Aichele, Schwegler 2011)

Mit 2,8 g Tausendkorngewicht ist sie die Leitart in dem Versuch und stellt somit die wichtigste Gräserart dar. Die Keimkraft dieser Art könnte auch für das Überleben anderer Arten ausschlaggebend sein.

### 13.1.9 *Anchusa officinalis* L. – gemeine Ochsenzunge

„**Merkmale:** von Mai bis September blühend, 20-90 cm hoch, überall mit abstehenden Haaren und mehrjährig.

Laubblätter: Länglich bis lineal-langzettlich, am Grunde oft etwas herzförmig, am Ende stumpf oder zugespitzt, 5-15 cm lang und ganzrandig oder unregelmässig gezähnt.

Blütenstand: seitenständige und mehrblütige Köpfchen im oberen Teil des Stängels.

**Blüten:** 5 Kelchblätter, verwachsen, 5 zipflig und deutlich weiss behaart; 5 Kronblätter, verwachsen, mit 6 – 10 mm langer Kronröhre, abgerundeten Zipfeln und blau bis violett gefärbt; mit behaarten Schlundschuppen; die 5 Staubblätter in der Krone eingeschlossen; Fruchtknoten aus 2 Fruchtblättern verwachsen und oberständig angeordnet.



**Abbildung 12** *Anchusa officinalis*  
Sturm Jacob (1796)

**Früchte:** Spaltfrüchte mit je 4-kantige gerippten Teilfrüchten; Ameisenverbreitung.

**Standort:** In der kollinen und montanen Stufe in Trockenwiesen, Äckern, entlang von Wegrändern auf Schuttplätzen und an Dämmen auf mässig trockenen, nährstoffreichen Sand- und Kiesböden.“ (Godet 2004)

Mit dieser 4 g/Tausendkorngewicht schweren Art sind die großsamigen krautigen Arten einer Glatthaferwiese vertreten und wichtig in dem Versuch zu beobachten.

### 13.1.10 *Knautia arvensis* Acker-Witwenblume

„**Merkmale:** Von Mai bis September blühend, 30-100 cm hoch, mit einem verzweigten Rhizom und ausdauernd.

**Laubblätter:** Untere lanzettlich, gestielt, gezähnt oder fiederteilig, zugespitzt und etwas behaart; mittlere und obere Blätter lanzettlich bis oval, sitzend und meist fiederteilig, Abschnitte lanzettlich und zugespitzt.

**Blütenstand:** Blüten in einfachen Köpfchen; äussere Hüllblätter lanzettlich und bewimpert.

**Blüten:** Kelch am Grunde mit feinen Haaren; Kelchborsten 2-3 mm lang und mit je einem langen Haar endend; Kronblätter 4, röhrig verwachsen, 4-zipfelig und blau bis rotviolett gefärbt; Staubblätter je 4, Fruchtknoten unterständig und ein fächerig.



**Abbildung 13** *Knautia arvensis* Sturm Jacob (1796)

**Früchte:** Nüsse 4-6 mm lang und an der Basis mit einem Anhängsel

**Standort:** In der kollinen und montanen Stufe in Fettwiesen, Äckern, entlang von Wald- und Weggrändern auf frischen bis mässig trockenen, nährstoff- und basenreichen, humosen Böden.“ (Godet 2004)

Bei einem Tausendkorngewicht von 5,5 g stellt diese Art den zweiten Vertreter grössamerer krautiger Arten, deren Keimverhalten innerhalb der Seedballs interessant zu beobachten ist. Sie ist eine wichtige Charakterart der trockenen Glatthaferwiese (vgl. Briemle et al. 1991).

## 14 Versuch

Am Montag den 29. April 2019 startete das Experiment im Garten der Universität für Bodenkultur bei leichtem Regen. Da die Keimfähigkeit der Arten bei guten Bedingungen getestet werden sollte, war es wichtig für ausreichende Bewässerung zu sorgen. Der Mai dieses Jahres brachte große Regenmengen mit 19 Regentagen und einem Niederschlag von 146 mm bei einem Normalwert von 69 mm (vgl. Wien GV 2019), was eine Beregnung des Versuches hinfällig werden ließ.



**Abbildung 14** Eigene Darstellung, Keimung in Seedballs

Die erste Keimung wurde nach acht Tagen sichtbar.

Am 15. Mai 2019 war Keimverhalten in allen Schalen mit nacktem Saatgut festzustellen und 18 von 200 Bälle zeigten Keimverhalten unterschiedlicher Art. In den Kontrollschalen war nichts festzustellen.

Am 18. Mai 2019, nach 20 Tagen mit ausreichend Regenfall und kurzen heißen sonnigen Phasen keimten alle Seedballs. Die Form wurde dabei beibehalten und Erosion war nur gering zu beobachten.



**Abbildung 15** Eigene Darstellung Sprengkraft der Samen

Am 23. Mai 2019 zeigten sich viele Keimlinge in den Bällen, die von der Keimkraft und Erosion aufgebrochen wurden. Licht drang ins Innere.

Es folgten sehr warme Tage (um die 30 C°), an denen der Versuch unter der Woche einmal täglich bewässert wurde.

Am 28. Mai wurden Gräser mit einer Höhe von 5-6 cm gemessen. In den weiteren heißen und sonnigen Tagen wurden die Samenbälle sehr hart.



**Abbildung 16** Eigene Darstellung Schneckenfraß, Erosion, Trockenheit

Am 14. Juni war es sehr heiß mit 32 C°, jedoch fand noch immer Keimung statt. Am 17. Juni zeigte sich, dass durch die Erosion der Bälle einige Wurzeln freigespült wurden, wodurch manche Keimlinge in der Hitze vertrockneten. Zusätzlich war Schneckenfraß durch Nacktschnecken

(*Arion vulgaris*) in einigen Schalen erkennbar.

Am 25. Juni herrschte erneut große Hitze. Einige Gräser der Samenbälle waren doppelt so hoch als jene im nackten Saatgut. Am 16. Juli waren einige Gräser spitzen vertrocknet und Blätter diverser Sorten verfärbten sich von gelb bis ins Rötliche. Einzelne wenige Gräser vertrockneten. Die freigespülten Wurzeln wurden teilweise mit neuen Trieben überwachsen.



**Abbildung 17** Eigene Darstellung Wachstum

Die Seedballs bildeten mittlerweile kleine grüne Inseln aller unterschiedlichen Arten, die auf dichtem Raum in Konkurrenz wuchsen. Eingeflogene Arten wie *Chenopodium*, *Sonchus*, *Taraxacum*, *Sola Kali* und *Trifolium* machten sich in allen Schalen bemerkbar. Im Großen und Ganzen schienen alle Pflanzen etwas unter Hitzestress zu stehen und das Wachstum gestaltete sich sehr langsam. Selbst *Achillea millefolium* zeigte Blattverfärbungen. Grund dafür dürften wohl mehrere Faktoren der Standortbedingungen sein, die durch das Versuchsdesign so vorgegeben waren.

Einerseits hatten die hohen Temperaturen mit bis zu 37 C° und 13 Hitzetagen (vgl. Wien GV 2019) ihren Anteil daran, zusätzlich waren die Schalen einer täglichen beinahe 12-stündigen Sonneneinstrahlung ausgeliefert. Die Schalen befanden sich innerhalb 60 cm hoher Holzkästen die spürbar zusätzliche Wärme abstrahlten.

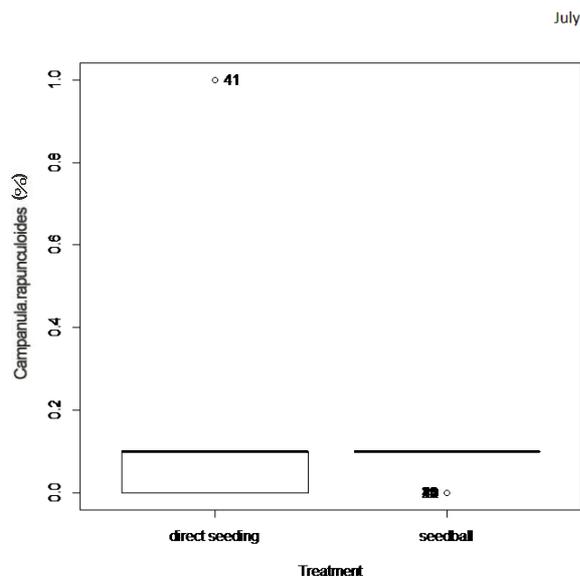
Ein weiterer wachstumslimitierender Faktor dürften die Keimschalen gewesen sein, die zwar Spalten hatten, durch die übermäßiges Wasser abfließen konnte, aber nicht genug Platz für die Wurzeln boten um sich ausreichend in die Tiefe zu entfalten. Somit blieb den relativ konzentrierten Individuen ein nur um die 5 cm tiefes Substrat.

Da der Versuch jedoch auf die Keimfähigkeit innerhalb der Bälle abzielte, kann dieser Umstand zwar als Hemmnis für das Größenwachstum angesehen werden, jedoch nicht für das Keimverhalten. Es gab trotz allem einzelne Keimschalen mit einer Deckung von 90 bis 95 %, sowohl bei nacktem Saatgut als auch bei Seedballs und einige blühende Arten wie (*Anchusa officinalis*, *Centaurea jacea*, *Arrhenatherum elatius*, *Leonthodon hispidus*). Weiters ließ der eingeschränkte Wurzelraum vermuten, dass das Wachstum unter uneingeschränktem Wurzelraum stärker gewesen wäre, was dann wiederum zu höherer Konkurrenz geführt hätte.

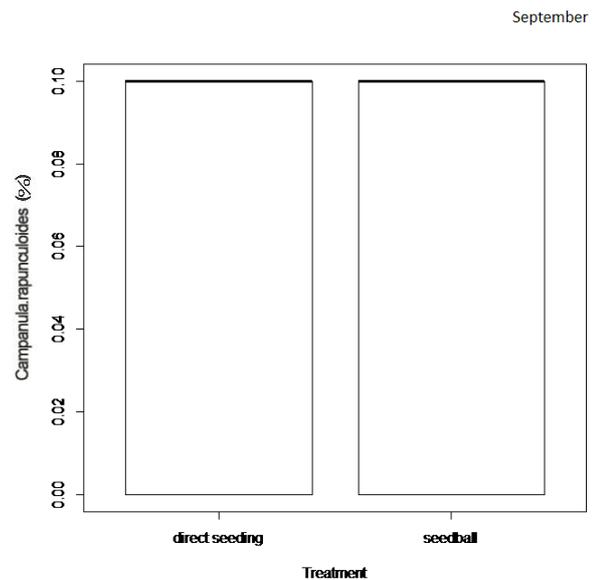
## 15 Boxplots

Die ersten Aufnahmen fanden von 24. - 26. Juli 2019 statt. Die zweiten Aufnahmen von 2. - 4. September 2019. Der folgende Teil beschreibt das Aufkommen der einzelnen Arten im Vergleich direct seeding/ seedball dargestellt in Boxplots.

### 15.1.1 *Campanula rapunculoides* Acker-Glockenblume



**Abbildung 19** *Campanula rapunculoides* Aufnahmen Juli



**Abbildung 18** *Campanula rapunculoides* Aufnahmen September

*Campanula rapunculoides* ist mit einem Tausendkorngewicht von ~ 0,2 g die kleinsamigste Art, die in dem Versuch verwendet wurde. In der Keimfähigkeitsprüfung zeigte diese Art 87,50 % Keimfähigkeit. Ebenso klein sind auch ihre Keimblätter. Obwohl die Pflanze in fast allen Keimschalen zu finden war, wurde sie von den größeren aus-konkurrenziert und erlangte kein ausgewachsenes Stadium. Mit einem p-Wert von 0.689 liegt der Wert über dem Signifikanzniveau von 0,05 wobei kaum Unterschiede zwischen den beiden Treatments auszumachen sind. Im September war die Art zwar noch vorhanden, doch kann anhand des p-Wertes von 0.262 ebenfalls keine Signifikanz festgestellt werden.

Der Median liegt in beiden Aufnahmen bei 0,1 was dem Mindestmaß des Aufkommens entspricht. Im Juli ist erkennbar, dass mehr Werte unterhalb von 0,1 liegen, was zeigt, dass in mehreren Schalen 0 also nichts zu finden war. Somit war das Aufkommen in Seedballs höher aber nicht signifikant.

Diese Interpretation stützt die Hypothese, dass kleinsamige Arten in Seedballs schlechter keimen somit nicht. Es besteht die Möglichkeit, dass die direct seeding – Keimlinge kleiner waren und so nicht erkannt wurden und deswegen nicht in die Aufnahme gelangten. Durch

stärkere Düngung wurden in Seedballs die Keimblätter stärker ausgebildet und waren somit sichtbarer.

### 15.1.2 *Achillea millefolium* Gewöhnliche Schafgarbe

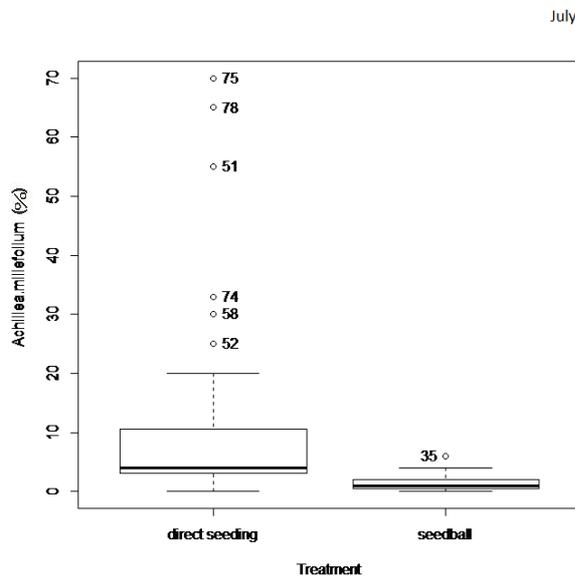


Abbildung 20 *Achillea millefolium* Aufnahmen Juli

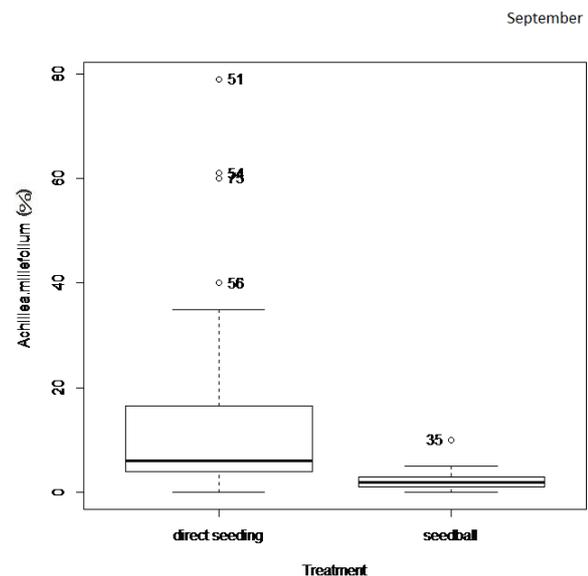


Abbildung 21 *Achillea millefolium* Aufnahmen September

*Achillea millefolium* ist eine der weiteren kleinsamigen Arten mit einem Tausendkorngewicht von 0,2 g. Im Klimaschrank hatte diese Art eine Keimfähigkeit von 88,50 %. Schon im Juli war erkennbar, dass diese Art ein häufigeres Aufkommen bei direkter oder nackter Saat (direct seeding) hatte als in Seedballs.

Die Keimhäufigkeit von *Achillea* liegt sowohl im Juli als auch im September oberhalb des Medians, mit Spitzen von bis zu 70 % und 80 % Gesamtdeckung in einzelnen Keimschalen.

Bei den Seedballs findet sich ein geringerer Median mit einem Ausreißer von 35 % Deckung der Gesamtfläche einer Schale. Das bedeutet, dass diese Art Schwierigkeiten damit hatte nach der Keimung an die Oberfläche des Seedballs zu gelangen, um sich zu entfalten.

Der p-Wert bestätigte mit einem signifikanten Wert von 0.0002 (**<0,001**) im Juli und 0.0001 (**<0,001**) im September, dass sich die zwei Treatments voneinander unterscheiden und somit die Hypothese stützen, dass kleinsamige Arten weniger für die Verwendung in Seedballs geeignet sind.

Für die Etablierung dieser Art auf Rohböden dürften beide Treatments geeignet sein, da das Ergebnis zwar schlechter für Seedballs ausgefallen ist, das Verfahren aber genug Individuen hervorbrachte, um ein Vermehren zu garantieren. Trotz allem ist es naheliegender für *Achillea millefolium* Trockensaat zu verwenden, um diese Art anzusäen.

Dies entspricht einem Studienergebnis, das sich mit der Pelletierung von *Achillea millefolium* Samen durch Kohlenstaub (bio-char) befasst hat. Hier wurde auch geringeres Keimverhalten durch ein seed coating für diese kleinsamige Art festgestellt (vgl. Williams et al. 2015).

Auch dieser Versuch konnte diese Beobachtung nun bestätigen.

Offen bleibt, ob das Ergebnis auch dann gilt, wenn die Seedballs in Größe und Zusammensetzung angepasst würden. Mit einem geringeren Durchmesser und höheren Sandanteil könnte womöglich das gleiche Ergebnis erzielt werden wie durch den Einsatz von Trockensaat, jedoch ohne Verbiss durch Tiere.

### 15.1.3 *Leonthodon hispidus* - Steifhaariger Löwenzahn

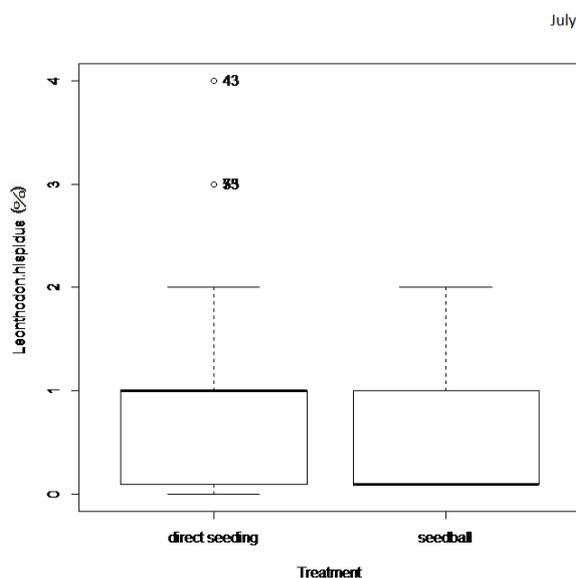


Abbildung 23 *Leonthodon hispidus* Auswertung Juli

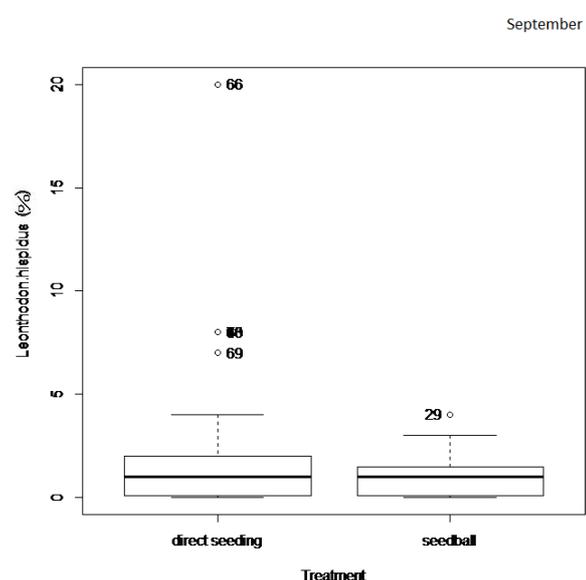


Abbildung 22 *Leonthodon hispidus* Auswertung September

Das Tausendkorngewicht von *Leonthodon hispidus* beträgt 1,1 g und liegt für diesen Versuch in dem Bereich der mittelgroßen Samen. Im Keimschrank keimten 85 % der Samen. Beim TTC-Test ließ sich keine Zellaktivität erkennen. Mit 85 % ist die Keimfähigkeit jedoch gut bis hoch.

Im Juli war das Aufkommen von *Leonthodon* zwischen direct seeding und Seedballs ähnlich, mit dem Unterschied, dass es Ausreißer von 3 % und 4 % bei direkt seeding gab, und der Großteil der Werte bei direct seeding unterhalb des Medians lag. Der Median bei Seedballs lag bei 0.1.

Im September lag der Median bei beiden Treatments auf selber Höhe mit einzelnen Ausreißern von 8 % und 20 %. Es ist weiters erkennbar, dass bei Seedballs die Mehrzahl der Werte unterhalb des Medians liegen. Mit gleichem Median im September ist somit kein Treatment dem anderen vorzuziehen.

Auch im Juli bestätigt sich das Ergebnis mit einem p-Wert von 0.0587 knapp oberhalb des Signifikanzniveaus. Im September liegt der Wert bei 0.0728 und ist somit auch nicht signifikant.

Anhand des Boxplots lässt sich jedoch erkennen wo Häufigkeiten auftreten. Die Tatsache, dass in beiden Treatments nur einzelne Werte bei Null liegen, bedeutet, dass die Etablierung einzelner Pflanzen funktioniert hat.

#### 15.1.4 *Festuca rubra* - gewöhnlicher Rotschwengel

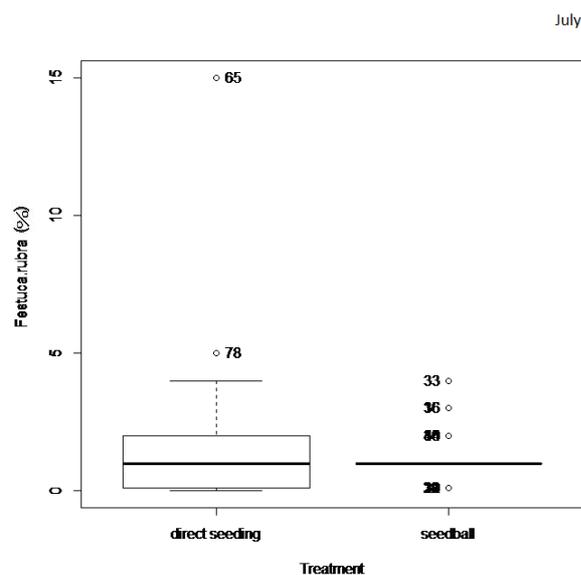


Abbildung 24 *Festuca rubra* Auswertung Juli

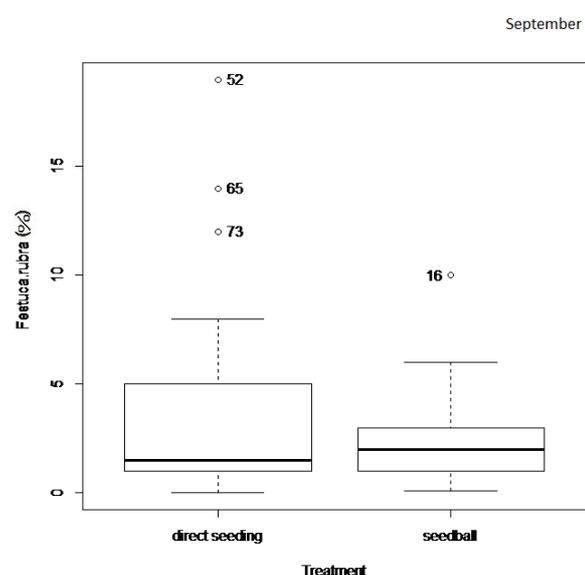


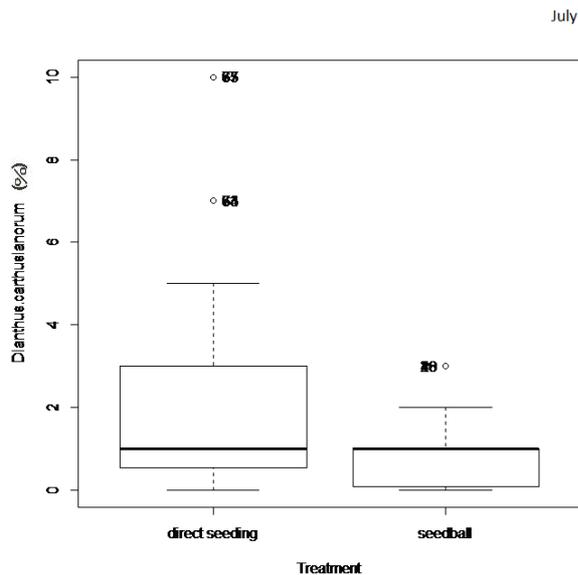
Abbildung 25 *Festuca rubra* Auswertung September

*Festuca rubra* ist eine der mittelgroßen Arten mit einem Tausendkorngewicht von 1,2 g. In der Keimfähigkeitsprüfung keimten 73 % des Saatgutes und beim TTC-Test konnte Zellaktivität von sieben weiteren Samen nachgewiesen werden, was insgesamt eine Keimfähigkeit von 81 % ausmacht. Der Median beider Treatments war im Juli auf selber Höhe. Im nackten Saatgut konnten aber höhere Verteilungen größerer Werte festgestellt werden. Dieser Trend setzte sich auch im September fort, wo der Median für direkt seeding konstant blieb, sich aber mehrere größere Vorkommen abzeichneten. Bei den Seedballs blieb die Verteilung rund um den Median innerhalb des Boxplots gleich. Die Aufkommen blieben aber geringer.

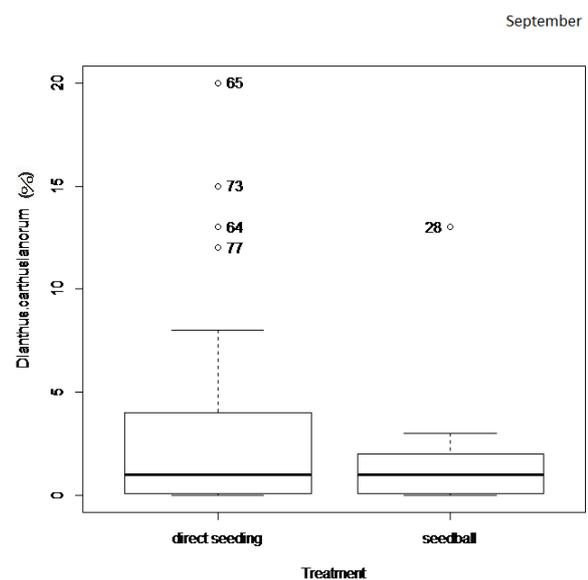
Der p-Wert liegt im Juli bei 0.27 und somit nicht signifikant. Im September bleibt der p-Wert weiterhin über 0.05 mit 0.198. Das Ergebnis ist somit nicht signifikant und die beiden Verfahren zeigten gleiche Anwuchserfolge.

Durch die Verteilung höherer Werte bei direkt seeding wurden die Individuen besser auf die Fläche aufgeteilt was sich im Deckungsgrad niederschlägt, da Seedballs durch die Konzentrierung der Arten, nicht zu gleichmäßiger Deckung im ersten Jahr führen können. Der Median der Seedballs im September lag jedoch höher als alle anderen.

### 15.1.5 *Dianthus carthusianorum* - Karteusernelke



**Abbildung 27** *Dianthus carthusianorum* Auswertung Juli



**Abbildung 26** *Dianthus carthusianorum* Auswertung September

*Dianthus carthusianorum* hat mittelgroße Samen im Vergleich zu den anderen verwendeten Arten. Mit einem Tausendkorngewicht von 1.2 g

Im Keimschrank keimten 77,5 % und im TTC-Test konnten 80 % keimfähiges Saatgut insgesamt festgestellt werden.

Im Aufkommen von direct seeding zeigte sich eine höhere Verteilung größerer Werte als der Median im Juli. Bei dem Treatment Seedball wurden häufiger kleinere Werte festgestellt, die jedoch unterhalb des Medians liegen.

Im September hatten beide Treatments den gleichen Median, mit einer stärkeren Ausprägung von Werten über 1 bei direct seeding.

Der p-Wert beschreibt das Ergebnis im Juli mit 0.0089 (**<0,01**) als signifikant. Im September ist der p-Wert 0.0335 (**<0,05**). Hiermit liegt dieser unter 0.05 und ist somit ebenfalls signifikant.

Diese mittelgroße bis kleinsamige Art zeigte somit, dass die Keimfähigkeit und das spätere Auftreten durch Trockensaat (direct seeding) zu besseren Ergebnissen führten als die Verwendung in Seedballs.

Auch hier gilt, dass für diese Samengrößen Trockensaat zu besseren Ergebnissen führt.

Für eine Initialetablierung der Art auf Rohboden sind seedballs eine vielversprechende Alternative, wenn sie hinsichtlich Größe und Rezeptur adaptiert werden, um so die Entwicklung der Individuen sicherzustellen.

### 15.1.6 *Centaurea jacea* - Wiesen-Flockenblume

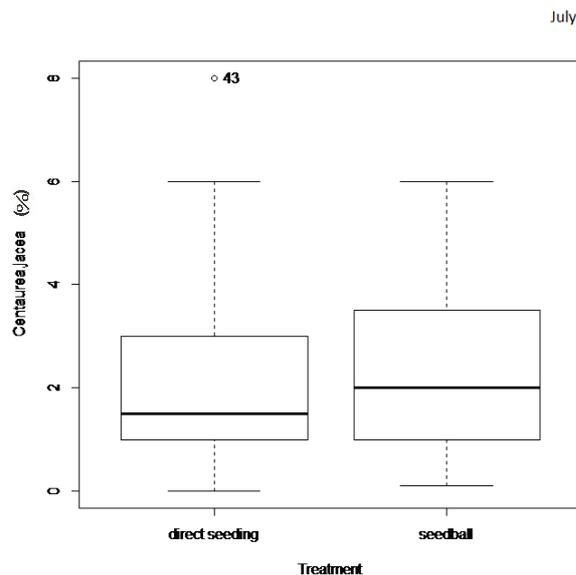


Abbildung 29 *Centaurea jacea* Auswertung Juli

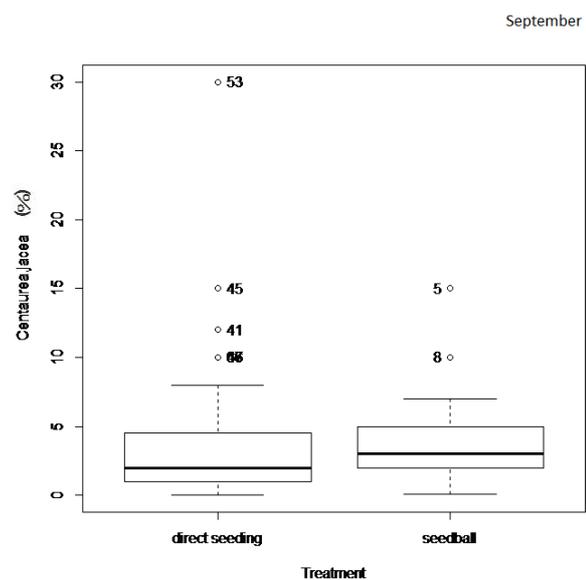


Abbildung 28 *Centaurea jacea* Auswertung September

*Centaurea jacea* hat mit einem Tausendkorngewicht von 1,53 g mittelgroße Samen.

Im Keimfähigkeitstest keimten 45 % der Samen und im TTC-Test konnte weiters noch Zellaktivität festgestellt werden, was eine Keimfähigkeit von 52 % ergab.

Im Juli war das Aufkommen von *Centaurea jacea* in Seedballs mit einem Median von 2 % und einer höheren Anzahl an Werten von >2 % stärker, als bei direct seeding.

Dieser Trend setzte sich im September fort.

Der p-Wert im Juli mit 0.376 zeigte jedoch, dass kein signifikantes Ergebnis vorliegt. Im September liegt der p-Wert bei 0.668.

Da die optischen Unterschiede in der Boxplot-Darstellung jedoch variieren, kann davon ausgegangen werden, dass der Stichprobenumfang zu gering war und sich die zwei Treatments doch voneinander unterscheiden auch wenn mathematisch gesehen keine Signifikanz vorliegt.

Diese mittelgroßen Samen zeigten ein höheres Aufkommen in Seedballs, vermutlich weil die Embryos mehr Kraft besaßen, um sich durch das seedball-Substrat zu bohren.

Die Art ist somit für die Verwendung in seedballs geeignet und liefert bessere Ergebnisse als Trockensaat.

### 15.1.7 *Arrhenatherum elatius* - Gewöhnlicher Glatthafer

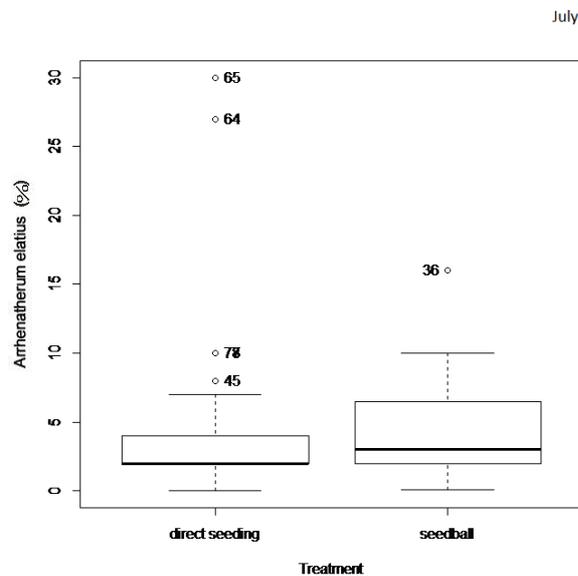


Abbildung 31 *Arrhenatherum elatius* Auswertung Juli

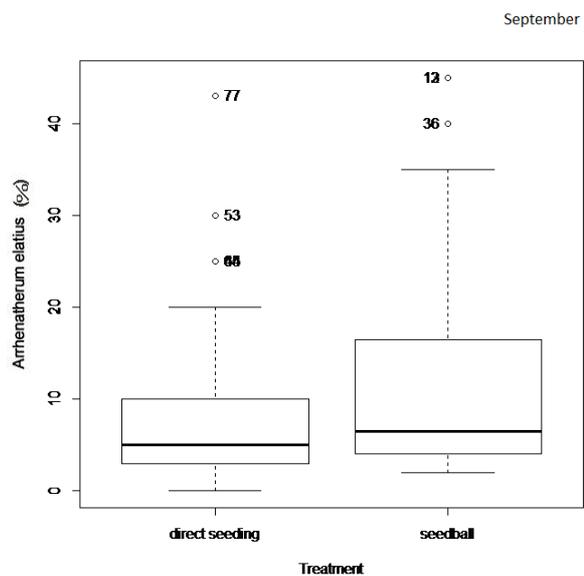


Abbildung 30 *Arrhenatherum elatius* Auswertung September

*Arrhenatherum elatius* hat ein Tausendkorngewicht von 2,8 g und ist somit den großsamigen Arten zuzuschreiben.

Bei der Keimfähigkeitsprüfung kam heraus, dass 47 % der Samen im Keimschrank keimten und die Zellaktivität konnte durch den TTC-Test noch in weiteren Samen festgestellt werden, was eine Keimfähigkeit von 75 % ergab.

Im Juli lag die Mehrzahl der Werte in beiden Treatments oberhalb des Medians. Bei Seedballs lag jedoch der Großteil der Werte im höheren Bereich als bei direct seeding, wobei es bei direct seeding Ausreißer mit Werten von 15 % bis 30 % gab. Im September lag der Median bei den Seedballs ebenfalls höher mit Ausreißern bis zu 45 %. Direkt seeding lieferte ebenfalls gute Ergebnisse allerdings mit einigen Schalen, in denen sich die Art nicht etablieren konnte.

Der p-Wert zeigte im Juli kein signifikantes Ergebnis mit 0.804. Im September grenzte der Wert an die Signifikanz mit 0.052. Hier kann es sich ebenfalls um einen zu geringen Stichprobenumfang handeln, der Boxplot zeigte eine häufigere Verteilung größerer Werte bei Seedballs.

Die Etablierungsraten waren in beiden Verfahren gut mit besseren Ergebnissen und stärkerem Wachstum bei Seedballs, was an der zusätzlichen Nährstoffverfügbarkeit lag.

Diese Gräser-Art konnte sich mühelos durch den Substratmantel bohren was wohl auch auf die spitzen Keimblätter zurückzuführen ist.

*Arrhenatherum elatius* stützt somit die Hypothese, dass großsamige Arten besser für die Verwendung in Seedballs geeignet sind als kleinsamige Arten und zählt zu den top

performern in diesem Versuch. Es kann somit festgehalten werden, dass mittels Seedballs ein Anwuchserfolg möglich ist.

### 15.1.8 *Salvia pratensis* - Wiesensalbei

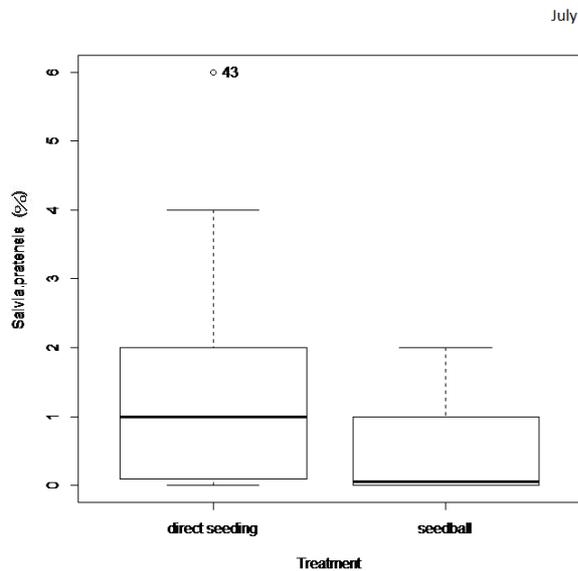


Abbildung 32 *Salvia pratensis* Auswertung Juli

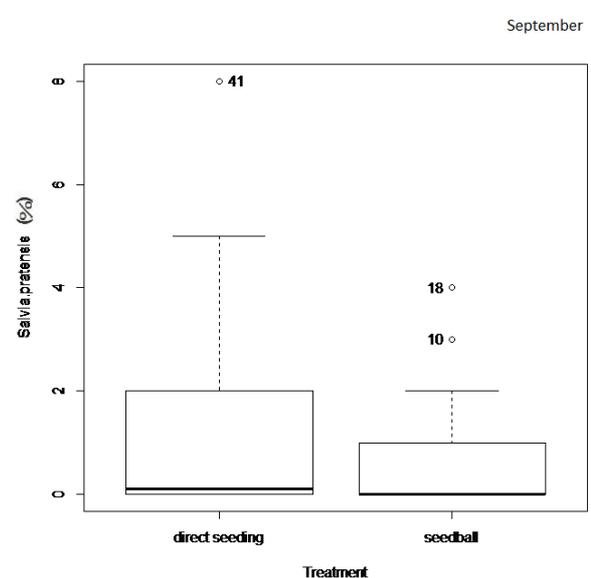


Abbildung 33 *Salvia pratensis* Auswertung September

Das Tausendkorngewicht von *Salvia pratensis* beträgt 2,4 g, weswegen dieses Kraut den großsamigen Arten zuzurechnen ist.

Im Keimfähigkeitstest schnitt das Saatgut relativ schlecht ab mit 29 %. Im TTC-Test konnten noch Aktivitäten des Embryos festgestellt werden, was den Wert auf 53 % keimfähiges Material, steigen ließ.

Mit dem p-Wert im Juli von 0.0007 (**<0,01**) hatte dieses Ergebnis eine hohe Signifikanz. Im September lag der p-Wert bei 0.0377 (**<0,05**) und war ebenfalls signifikant.

Im Juli zeigte sich eine Verteilung höherer Werte, als der Median, bei direct seeding.

Bei Seedballs war die Art zwar auch vertreten doch befanden sich die Hälfte der Werte im Bereich um 0. Im September zeigte sich diese Ausprägung umso stärker, da die Pflanzen größer wurden, mit Ausreißern bis 8 % bei direkt seeding und 3-4 % bei Seedballs. Ersichtlich war auch, dass sich beide Mediane um die Null bewegen jedoch mit höheren Vorkommen bei direct seeding wo der Großteil der Werte über 0.1 lag und bis 2 % ging.

Dieses Ergebnis stützt die Hypothese, dass großsamige Arten sich besser für die Verwendung in Seedballs eignen nicht. Hier muss auch in Betracht gezogen werden, dass das Saatgut schlechte Keimfähigkeit aufwies und somit keine große Grundgesamtheit zustande gekommen war, anhand der die Ergebnisse genauer definiert werden konnten.

*Salvia pratensis* ist eine Art dessen Verwendung in Seedballs einer höheren Konzentration bedarf.

Generell eignet sich diese Sorte eher für die Ausbringung mittels Trockensaat, Mulchung oder Heudrusch. Sollte sie doch für Seedballs verwendet werden, kann mit kleineren Bällen nachgeholfen werden. Der Keimling hat es schwer durch das Substrat zu dringen, wird schnell aus-konkurrenziert oder hat geringe Sprengkraft.

### 15.1.9 *Anchusa officinalis* - gemeine Ochsenzunge

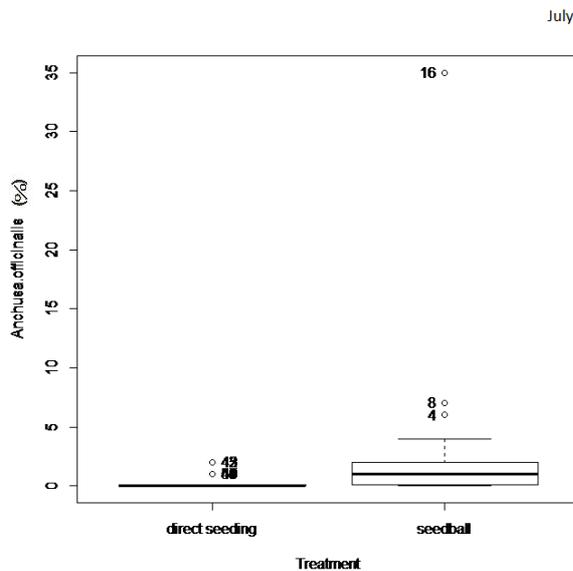


Abbildung 35 *Anchusa officinalis* Auswertung Juli

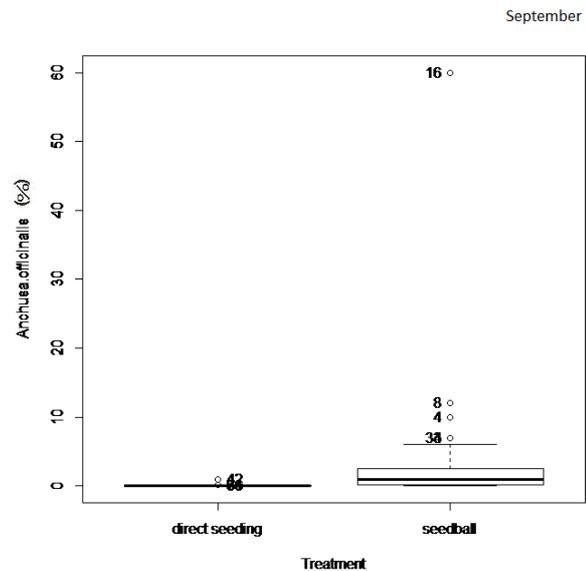


Abbildung 34 *Anchusa officinalis* Auswertung September

Mit einem Tausendkorngewicht von 4 g zählt *Anchusa officinalis* zu den großsamigen Arten. Im Keimschrank keimten 29 % der Samen und durch den TTC-Test konnte insgesamt 40 % des Saatgutes als keimfähig eingestuft werden.

Der p-Wert im Juli lag bei 0.0192 (**<0,05**), zeigte ein signifikantes Ergebnis. Im September lag der Wert bei 0.0223 (**<0,05**) und war somit auch signifikant.

Bei direct seeding konnte kaum ein Aufkommen der Art beobachtet werden, bis auf bescheidene Ausreißer in einzelnen Schalen sowohl im Juli als auch im September.

Bei dem Treatment Seedballs haben wir im Juli und September konstante Mediane innerhalb weniger Schalen, in denen die Art nicht zu finden war. Es ist eine einzelne Schale mit sehr großem Ausreißer vorhanden und 3 kleineren.

In diesem Fall konnte die Hypothese, dass großsamige Arten besser in Seedballs keimen bestätigt werden. Trotz schlechtem Saatgut konnte ein signifikantes Ergebnis erzielt werden.

*Anchusa officinalis* eignet sich somit besser in der Verwendung durch seedballs als Trockensaat (direct seeding).

### 15.1.10 *Knautia arvensis* - Acker-Witwenblume

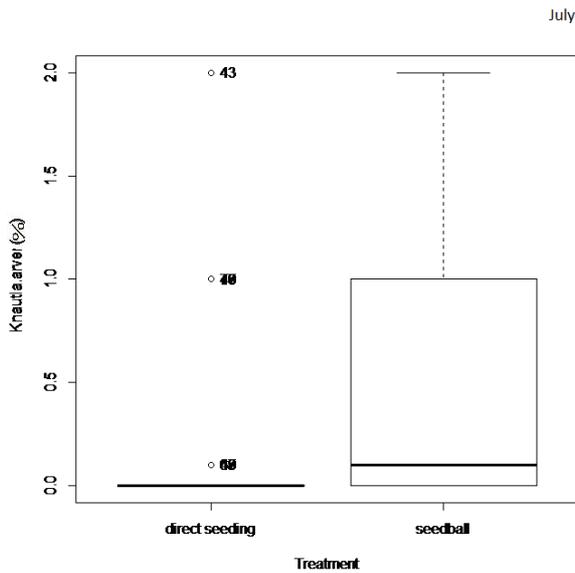


Abbildung 37 *Knautia arvensis* Auswertung Juli

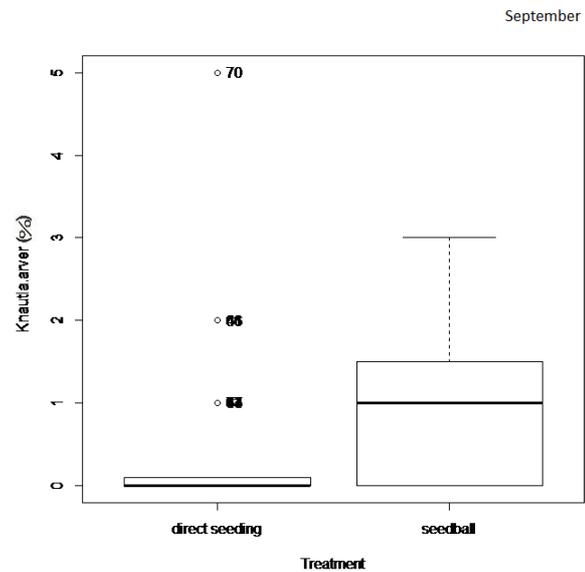


Abbildung 36 *Knautia arvensis* Auswertung September

Mit einem Tausendkorngewicht von 5,5 g machte *Knautia arvensis* die schwerste Art aus, die in dem Versuch verwendet wurde.

Bei der Keimfähigkeit wurde mit 38 % ein niedriger Wert festgehalten obgleich mit TTC-Test noch 51 % erreicht wurden. Hier konnte aber nicht geklärt werden, ob der Pilzbefall der Samenschale für die Zellaktivität verantwortlich war.

Der p-Wert im Juli zeigte einen signifikanten Wert von 0.0195 (**<0,05**). Im September lag der p-Wert bei 0.00447 (**<0,01**) im hochsignifikanten Bereich, was die Unterschiede noch drastischer hervorhob.

Mit einzelnen Ausreißern von bis zu 5 % scheint direct seeding einzelne größere oder kleinere Individuen in einzelnen Schalen hervorgebracht zu haben. Seedballs konnten aber wesentlich mehr Pflanzen etablieren. Das zeigt, dass es Arten gibt, durch welche die Keimung im Seedball begünstigt wird. Das Aufkommen ist auf Grund des schlechten Saatgutes bescheiden, aber nichts desto trotz stellt das Ergebnis eine hohe Signifikanz dar, die eine Befürwortung der Verwendung von seedballs nicht außer Acht lassen kann.

Die Hypothese, dass großsamige Arten in Seedballs besser keimen, ist somit bestätigt.

## 15.2 Kontrollschalen

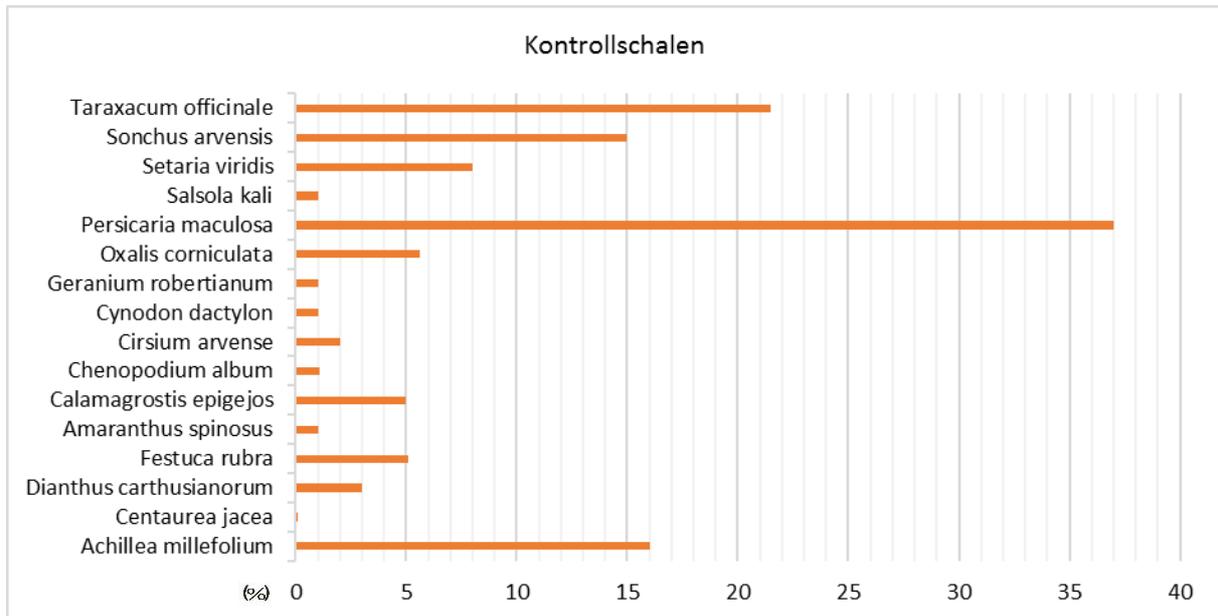


Abbildung 38 Eigene Darstellung Sameneinflug Kontrollschalen

Das Diagramm zeigt alle Arten, die in die acht Kontrollschalen eingeflogen sind oder schon im Substrat waren und sich etablieren konnten.

Auch der prozentuelle Deckungsgrad des Aufkommens der Arten in den Kontrollschalen ist dem Diagramm zu entnehmen. So zeigt sich, dass *Festuca rubra*, *Dianthus carthusianorum*, *Centaurea jacea* und *Achillea millefolium* sich wahrscheinlich durch die Ausbringung Trockensaat in den Nachbarschalen verbreiten konnten. Es kann davon ausgegangen werden, dass manche dieser kleinsamigen Arten bei der Ansaat vom Wind in die benachbarten Kontrollschalen getragen wurden und dort bei Einsetzen der Bewässerung zu keimen begannen.

*Taraxacum officinale*, *Sonchus arvensis*, *Persicaria maculosa* und *Achillea millefolium* zählen zu den häufigsten Arten.

Der Großteil der in den Kontrollschalen gefundenen Arten konnte in unmittelbarer Nähe des Versuchs gefunden werden.

Der allgemeine Deckungsgrad innerhalb der Kontrollschalen war mit 30,5 % niedrig.

### 15.3 Sonstige eingeflogene Arten

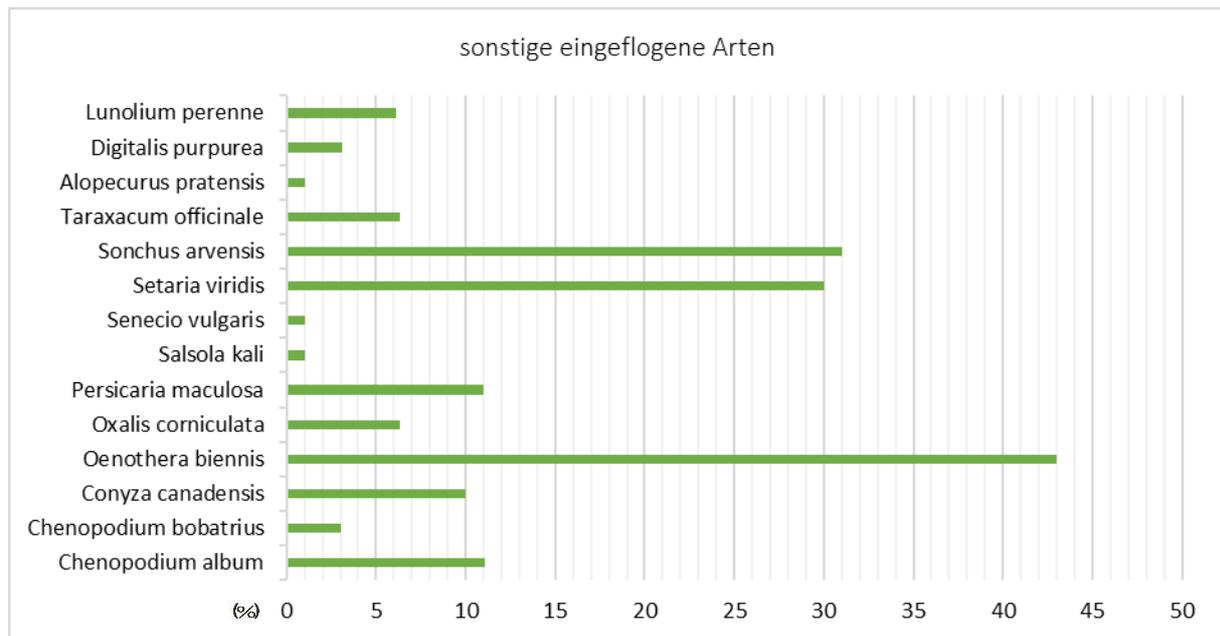


Abbildung 39 Eigene Darstellung sonstige eingeflogene Arten

Hier zeigt das Diagramm alle sonstigen Arten, die sich innerhalb der Schalen mit Trockensaat und Seedballs ausbreiten konnten.

*Oenothera biennis* und *Sonchus arvensis* hatten den größten Deckungsgrad in einigen Schalen und stellten somit Konkurrenz zu der Ansaat dar.

Bei *Setaria viridis* und *Lunolium perenne* kann davon ausgegangen werden, dass diese Gräser durch das Saatgut in den Versuch gelangten.

*Chenopodium bobatrius* und *Chenopodium album* waren mit geringem Deckungsgrad vertreten, traten aber in hoher Individuenzahl auf.

*Persicaria maculosa* und *Conyza canadensis* waren ebenfalls hoch in der Anzahl einzelner Pflanzen vertreten. Diese Arten konnten fast in jeder Schale gefunden werden.

Zu einem weiteren häufigen Vertreter in vielen Schalen zählt *Oxalis corniculata*. Diese Art trat sehr häufig, aber in kleiner Größe auf.

## 16 Ergebnisse

**Tabelle 5** Endergebnisse

(Darstellung der Signifikanzen zwischen den treatments Seed (direct seeding) und Ball (seedball) v. Juli u. Sept.). Fett markierte Zeilen stellen ein signifikantes Ergebnis dar.

Species (cover) Juli	F	p		Species (cover) Sept.	F	p	
Campanula rapuncloides	0,161	0.69	ns	Campanula rapuncloides	1.278	0.26	ns
<b>Achillea millefolium</b>	<b>14.34</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>Seed&gt;Ball</b>	<b>Achillea millefolium</b>	<b>16.55</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>Seed&gt;Ball</b>
Leonthodon hispidus	3.681	0.059	ns	Leonthodon hispidus	3.307	0.07	ns
Festuca rubra	1.232	0.27	ns	Festuca rubra	1.688	0.2	ns
<b>Dianthus carthusanorum</b>	<b>7.189</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>Seed&gt;Ball</b>	<b>Dianthus carthusanorum</b>	<b>4.682</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>Seed&gt;Ball</b>
Centaurea jacea	0.793	0.38	ns	Centaurea jacea	0.185	0.67	ns
<b>Salvia pratensis</b>	<b>12.44</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>Seed&gt;Ball</b>	<b>Salvia pratensis</b>	<b>4.467</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>Seed&gt;Ball</b>
Arrhenatherum elatius	0.062	0.8	ns	<b>Arrhenatherum elatius</b>	<b>3.894</b>	<b>0.052</b>	ns
<b>Anchusa officinalis</b>	<b>5.716</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>Seed&lt;Ball</b>	<b>Anchusa officinalis</b>	<b>5.44</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>Seed&lt;Ball</b>
<b>Knautia arvensis</b>	<b>5.692</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>Seed&lt;Ball</b>	<b>Knautia arvensis</b>	<b>8.574</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>Seed&lt;Ball</b>

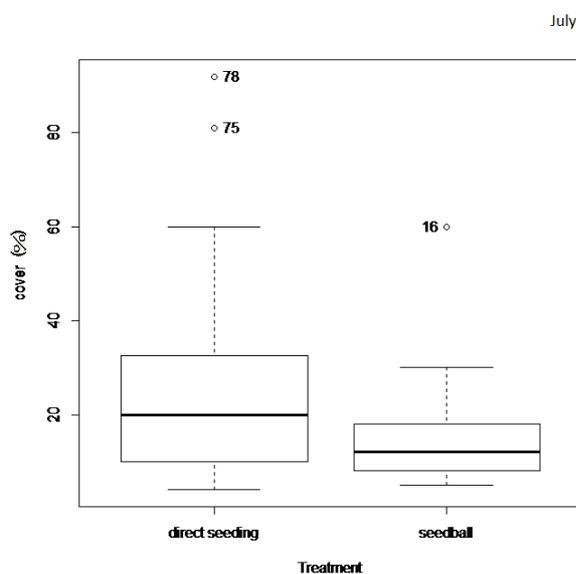
Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass sich die verschiedenen Arten innerhalb der beiden Treatments unterschiedlich verhalten. Im Juli und September zeigten zwei Arten signifikante Ergebnisse, die die Hypothese stützen, dass kleine Samen (0,2 g) schlechter in Seedballs keimen. *Achillea millefolium* und *Dianthus carthusanorum* wiesen erhöhtes Aufkommen in der Trockensaat auf. Bei *Festuca rubra* kann anhand der Verteilung der Werte innerhalb des Boxplots darauf geschlossen werden, dass auch hier die Hypothese gestützt wird. Das Saatgut all dieser Arten zeigte im Keimfähigkeitsversuch gute Ergebnisse was die Beobachtung zusätzlich stützt.

Bei den großsamigen Arten mit einem Tausendkorngewicht von ~2,4 g zeigten sich Signifikanzen bei *Salvia pratensis*, *Anchusa officinalis* und *Knautia arvensis*, im Juli wie auch im September. Bei *Anchusa officinalis* und *Kautia arvensis* bestätigt sich die Hypothese, dass großsamige Arten besser in Seedballs keimen als Kleinsamige. Dies ist somit, trotz der geringen Keimfähigkeit des Saatgutes, bewiesen. Eine weitere großsamige Art mit schlechter Keimfähigkeit ist *Salvia pratensis*, was der Hypothese widerspricht. In diesem Fall

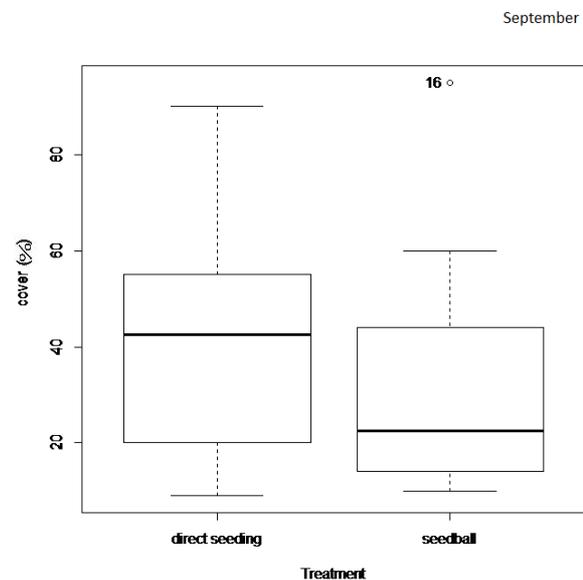
keimte *Salvia* besser bei Trockensaat. *Arrhenatherum elatius* kam sehr knapp an den Signifikanzwert von 0.05 heran und zeigte auch im Boxplot eine deutliche Verteilung höherer Werte bei dem Treatment Seedballs. Mathematisch gesehen liegt aber keine Signifikanz vor. Das heißt die Hypothese bestätigt sich teilweise, für die in dieser Arbeit klassifizierten großsamigen Arten. Für die zwei größten (*Anchusa officinalis* 4 g und *Kautia arvensis* 5,5 g) trifft sie zu.

Das Ergebnis lautet somit, dass drei Arten besser mit Trockensaat keimen und zwei Arten besser mit Seedballs. Bei zehn Arten bleiben fünf weitere dessen Ergebnis nicht signifikant war. Wenn man nun die Verteilungen der Werte bei den Boxplots miteinbezieht, können *Festuca rubra* und *Leonthodon hispidius* Trockensaat zugeordnet werden. *Arrhenatherum eliatius* und *Centaurea jacea* den Seedballs. Fünf Arten keimten bei Trockensaat besser und vier Arten bei Seedballs. Bei *Campanula rapunculoides* war das Aufkommen zu gering, um es einem Treatment zuzuordnen.

## 17 Gesamtdeckung der Keimschalen



**Abbildung 41** Gesamtdeckung Juli



**Abbildung 40** Gesamtdeckung September

Mit einem Median von 20 % im Juli und 41 % im September hat Trockensaat eine höhere Deckung erzielt. Dieses Ergebnis ist nicht verwunderlich, da bei Seedballs das Saatgut an einem Ort konzentriert liegt. Bei Trockensaat hingegen verteilen sich einzelne Samen weiter über die zu begründende Fläche was zu einer gleichmäßigeren Verteilung einzelner Pflanzen führen kann.

Bei Seedballs liegen ein Großteil der Werte knapp über dem Median im Juli.

Während der Median im Juli bei 10 % lag, steigt er im September auf 20 % mit einer höheren Verteilung der Werte bis 40 %.

## 18 Diskussion

Dieser Versuch war darauf ausgelegt das Keimverhalten verschieden großer Samen zu testen und konnte nun verdeutlichen, wie sich verschiedene Arten in den zwei Treatments verhalten. Die Anzahl der Samen wurde für Seedballs bewusst zu hoch gewählt, um das Verhalten der Arten bei gleichzeitiger Keimung zu beobachten. Dies führte zu erhöhtem und konzentriertem Konkurrenzverhalten.

Es konnte somit bewiesen werden, dass mehrere Samen die Kraft haben um Seedballs zu sprengen oder sie gleich zu überwachsen. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass Seedballs geeignet sind, um als naturnahe Begrünungsmethode zu dienen, vor allem bei großsamigen Arten. Es ist festzustellen, dass durch Seedballs die Möglichkeit besteht, Arten zu etablieren.

Ein wichtiger und ausschlaggebender Faktor ist ausreichend Niederschlag, der je nach Mischungsverhältnis mehr oder weniger maßgeblich auch an der Erosion der Bälle Teil hat. Es zeigte sich auch, dass Keimlinge in Seedballs etwas länger brauchten, um an die Oberfläche zu gelangen als Trockensaat.

Die Hypothese, dass Seedballs einen Nährstoffvorteil haben, konnte mit einem stärkeren Wachstum bei *Arrhenatherum elatius*, *Anchusa officinalis* und *Knautia arvensis* beobachtet werden. Diese Arten hatten mehr Blätter und waren grüner.

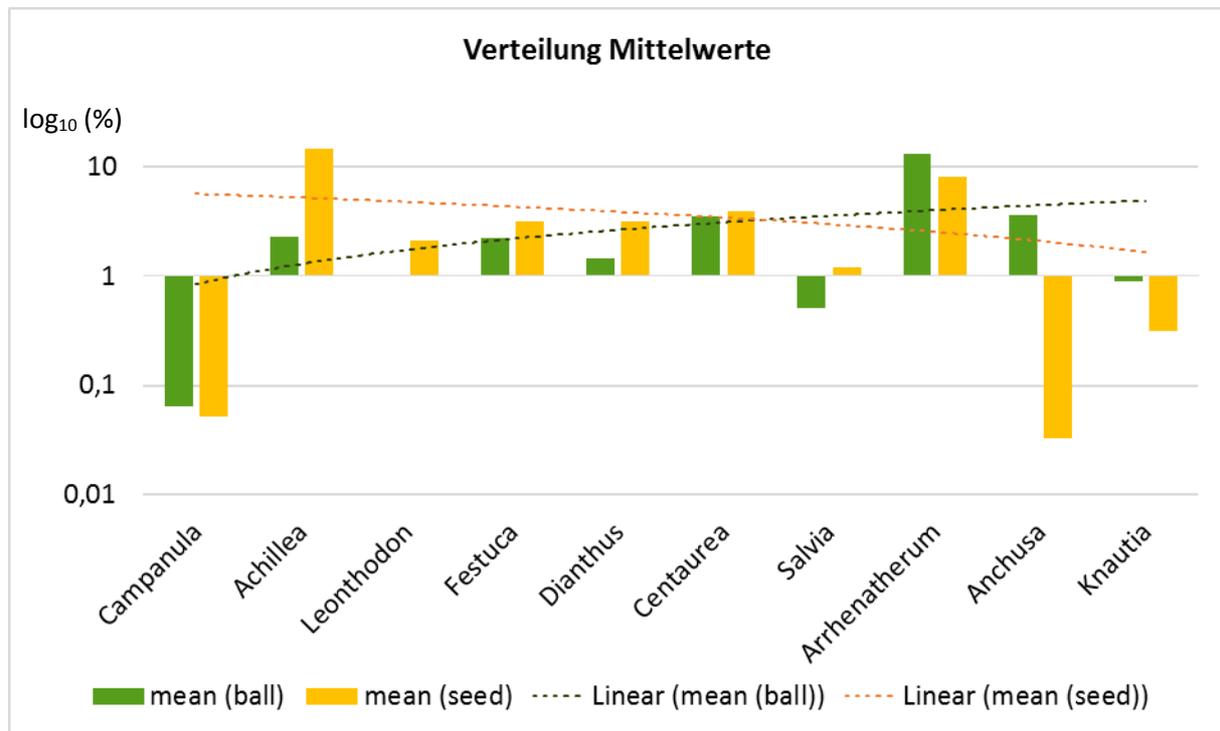
Wie bei der Trockensaat gab es auch bei den Seedballs einzelne Keimschalen, in denen die Pflanzen sehr stark oder sehr schwach gewachsen waren, was vermutlich an dem Hitzeschock und dem zu geringem Wurzelraum lag.

Die Wasserverfügbarkeit war durch ausreichende Bewässerung gegeben und kann somit nicht beurteilt werden. Auffallend war, dass der Bereich zwischen Seedball und Boden immer am langsamsten trocknete und dort hohes Keimverhalten beobachtet werden konnte.

Die Samen blieben in Seedballs vor Tierfraß geschützt, doch sobald das Wachstum einsetzte boten Seedballs als grüne Inseln konzentriert Futter für Herbivore.

Die Samen innerhalb des Balls bleiben an Ort und Stelle liegen und wurden nicht vom Wind verblasen.

## 19 Darstellung der Verteilung der Mittelwerte aller Arten



**Abbildung 42** Eigene Darstellung Verteilung der Mittelwerte der Deckungsgrade beider treatments

Die obige Grafik zeigt die prozentuelle Darstellung der Mittelwerte aller verwendeten Arten in den beiden Treatments in einer logarithmischen 10-Skalierung. Die Pflanzen sind der Samengröße nach geordnet. Links befinden sich die kleinsten und nach rechts verlaufend werden diese größer. Bei Seedballs zeigen sich unter den größeren Samen höhere Mittelwerte, die im rechten Teil der Abbildung zu sehen sind.

*Arrhenatherum*, *Anchusa* und *Knautia* zählen somit zu den Top Performern in Seedballs. Hier konnte bei *Arrhenatherum* noch verdeutlicht werden, dass obwohl in dieser Art kein signifikanter p-Wert besteht, sehr wohl ein höheres Auftreten vorlag und sie sich besser in Seedballs etablieren konnte.

Bei *Achillea*, *Festuca* und *Dianthus*, Arten aus kleinem bis mittlerem Saatgut, konnten höhere Mittelwerte im Trockensaat- als im Seedball- treatment gemessen werden.

Wobei hier die Hypothese gestützt wird, dass für kleines Saatgut die Größe der Seedballs eine Barriere darstellt und sie daher in ihrer Keimung gehemmt sind.

Die Trendlinien überschneiden sich bei *Centaurea*.

Bei dieser Art konnte nicht eindeutig festgestellt werden, welches der beiden Treatments sich für eine Keimung besser eignet. Bei großsamigen Arten steigt die Trendlinie von einem geringen Vorkommen in Trockensaat zu einem hohen Aufkommen in Seedballs. Es ist ein Trend zu erkennen, dass Trockensaat für das Keimverhalten kleinsamiger Arten besser

geeignet ist, während sich mit zunehmender Samengröße Seedballs für das Anwachsen besser eignen. Seedballs eignen sich somit für großsamige Grünland-Arten (> 2,4 g) einer Glatthaferwiese besser. Trockensaart eignet sich für kleinsamige Arten (<2,4 g) besser.

## 20 Schlussfolgerungen

Im folgenden Kapitel werden Empfehlungen für zukünftige Projekte anhand praktischer Beispiele ausgesprochen, sowie deren Nutzen und Potenzial diskutiert.

### 20.1 Empfehlungen

Was die Herstellung von Seedballs betrifft, so können kleinere Mengen für den privaten Gebrauch einfach mit geringem Zeitaufwand hergestellt werden. Je nach dem ob Saatgut und Substrat im Vorhinein gemischt oder für jeden Ball einzeln zusammengeknetet werden,



**Abbildung 43** Eigene Darstellung Vegetationsinseln durch Seedballs

braucht es für die Herstellung von 200 Stück etwa vier bis sechs Stunden.

Wird eine größere Anzahl benötigt, kann die Herstellung innerhalb von Gemeinschaften, etwa im Rahmen von Renaturierungsprojekten durchgeführt werden, wie es beispielsweise in Ländern wie Indien, Afrika oder Griechenland bereits praktiziert wird.

Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die einzelnen Komponenten meist jederzeit relativ kostengünstig freiverfügbar sind.

Lehm kann stets an Flussläufen gefunden und mittels einfachster Methoden pulverisiert werden. Dazu wird lediglich eine Plane benötigt, auf der der Lehm verteilt wird, um ihn, nachdem er getrocknet ist, mit einem Stock oder einer Walze zu immer kleineren Teilen zu zerschlagen und zerquetschen. Zur Herstellung von Pulver ist die Verwendung eines Siebs hilfreich. Humus kann ebenfalls einfach durch Kompostieren von verfügbarem Laub, Küchenabfällen oder Tiermist hergestellt werden. Am kostenintensivsten ist das Saatgut vor allem dann, wenn die natürlichen Arten am Standort nicht mehr vorkommen und Samen nicht im Herbst geerntet werden können. Hierbei sollte immer darauf geachtet werden,

standorttypische Zielgesellschaften zu verwenden, um ein Ausbreiten gebietsfremder Neophyten zu unterbinden.

Für Einzelpersonen ohne Gemeinschaft kann ein Betonmischer ohne Mischeisen verwendet werden. Der Mischer muss waagrecht eingestellt werden. Zuerst fügt man leicht trockenen gesiebten Humus hinzu. Unter laufendem Mixer mengt man das Saatgut und anschließend die gewünschte Menge Lehmpulver bei. Zusätzlich kann Chilipulver als Beizmittel verwendet werden. Nun sprüht man zerstäubtes Wasser hinzu bis sich Klumpen (Seedballs) bilden. Diese Seedballs werden mit einer Schaufel nach und nach entfernt bis keine Mixtur mehr vorhanden ist. Anschließend werden Sie in der Sonne getrocknet (vgl. Bones 1998). Die Seedballs dieser Herstellungsweise variieren ein wenig in Größe und Gewicht, können aber so in hoher Stückzahl produziert werden.

Für kleineres Saatgut, das Schwierigkeiten hat an die Oberfläche zu gelangen, eignet es sich extrudierte seed pellets herzustellen. Fukuoka stellt diese mittels eines Gitters her, durch die er die fertige Maße presst (vgl. Fukuoka 2013). Die Maschenweite sollte kleiner gewählt werden.

In einer Studie wurden mit einer Mischung aus Betonit, Kohle, Wurm Kot, Kompost, super-absorbierenden Polymeren, Stärke, Tensiden, Wachstumsregulatoren, Wasser und *Artemisia tridentate* –Saatgut mittels einer Pasta-Maschine Pellets hergestellt. Durch den Schwelleffekt der Pellets konnten die Keimlinge so an die Oberfläche gehoben werden und sie wuchsen entlang der Spalten nach oben. Hier wurden Erfolge in Sähtiefen von 15 mm bei Schlammlehm Boden verzeichnet, wo das Bodenwasserpotential höher ist. Bei Sandlehm Boden trat jedoch kein Effekt auf (vgl. Madsen 2016).



**Abbildung 44** Eigene Darstellung – optimale Verteilung des Saatgutes im Seedball

Die Herstellung von extrudierten pellets muss ebenfalls den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Es zeigt sich, dass Wasser einer der determinierenden Faktoren für das erfolgreiche Wachstum von Seedballs ist. Im Hinblick dessen sollte immer darauf geachtet werden, vor den Regenzeiten auszusähen. In Europa kann dies auch im Herbst oder zu Frühlingsbeginn erfolgen.

Eine weitere Methode, die in Griechenland durch Fukuoka zum Einsatz kam, war seed discs oder seed caps. Die vorbereitete Masse mit allen dem Standort angepassten Komponenten wird in einen Zylinder von 5-7 cm Durchmesser gerollt. Von dieser wurstförmigen Masse werden dann 1 cm starke Scheiben herunter geschnitten, die in der Sonne getrocknet werden. Zusätzlich werden noch Füllstoffe hinzugefügt wie Torf, Stroh, Baumwollfaser, Cocosfaser, Watte, Zellstoff und Perlit. Die Intension dahinter war Stoffe zu verwenden, die Mikroorganismen als Futter dienen und mehr Wasser speichern (vgl. Delfau 2012).

Um eine erhöhte Bodendeckung zu schaffen wäre es sinnvoll, die Form des Balls ganz zu verlassen und Seed-discs anzustreben. Mit 1-3 cm Stärke bei einem Durchmesser von 20 cm könnte man Scheiben herstellen, die ein unmittelbares Austrocknen des Bodens unterhalb verhindern und so den Pflanzen mehr Wasser zu Verfügung stellen. Dies würde eine Kombination aus Saatmatten (Begrünungsmatten) und Seedballs darstellen. Diese Methode erhöht den Bodenkontakt und kann somit nicht so leicht von Wind ausgetrocknet werden.

Durch die Verwendung von Geolit oder Perlit, Cocosfaser und Stroh kann mehr Wasser gespeichert werden. Zusätzlich bringen diese Stoffe einen Schwelleffekt mit sich, der für schnelles Anwachsen garantieren könnte. Durch die Verwendung von biologisch abbaubaren Stoffen bleiben die Mikroorganismen aktiv und können sich im Boden vermehren.

Durch Beimengung von aktivem Kompost, Kuhdung, Wurmhumus und Mykorrhiza Pilzen können den Pflanzen noch zusätzlich Nährstoffe und Mikroorganismen zur Verfügung gestellt werden, um bessere Anwuchserfolge zu generieren (vgl. Delfau 2012).

Bei diesem Versuch zeigte sich, dass die Seedballs trotz starken Regens oft ganz blieben und die Erosion der Bälle nicht so stark war wie angenommen. Um dies zu begünstigen kann der Masse zusätzlich Sand beigemischt werden. Hier muss darauf geachtet werden, die richtige Menge abzuschätzen und zu kontrollieren, ob nicht bereits Sand in dem verwendeten Lehm enthalten ist.

Einer der wichtigsten Faktoren, um einen Anwuchserfolg zu verzeichnen, ist ausreichend Niederschlag. Für ein Mischverhältnis von 3:5 Humus:Lehm werden mindestens 10 bis 12 inches (25,4 -30,4 cm) Niederschlag benötigt (vgl. Bones 1988). Nach diesem Versuch kann gesagt werden, dass es ebenfalls davon abhängt wie viele bewölkte und windige Tage mit niedrigen Temperaturen dem Regenereignis folgen, um sicherzugehen, dass die Seedballs nicht wieder austrocknen. Hier spielt die Exposition ebenfalls eine wichtige Rolle.

Was das Verhältnis betrifft so konnte mit diesem Versuch gezeigt werden, dass ein Verhältnis von 2:1 Humus:Lehm zu Anwuchserfolgen bei großsamigen Arten führt. Je trockener die Bedingungen, desto eher sollte darauf geachtet werden die Wasserhaltefähigkeit zu erhöhen, da Lehm bei direkter Sonneneinstrahlung äußerst schnell hart wird und es den Keimlingen in weiterer Folge unmöglich macht an die Oberfläche zu dringen. Weswegen hier die Empfehlung ausgesprochen wird organisches Material stets den größeren Teil des Mischungsverhältnisses einnehmen zu lassen. Ein Feuchthalten des Seedballs sollte unter allen Umständen angestrebt werden, um das Substrat weich zu halten und den es Keimlingen so zu ermöglichen, an die Oberfläche zu dringen, um die Mikroorganismen sowie Mykorrhiza aktiv zu halten und um ein schnelles Wachstum zu garantieren. Weiters besitzt Humus die Fähigkeit das 3-5-fache seines Gewichts an Wasser aufzunehmen (vgl. Köglel-Knabner 2018) und ist somit ein wichtiger Speicher.

Durch die globale Erwärmung scheint es zu immer unregelmäßigeren Wetterkapriolen zu kommen, bei denen schwer abgeschätzt werden kann, ob die richtige Ansaatzeit gewählt wurde oder nicht. So kann es in Regenzeiten zu Trockenheit kommen, wodurch die Anwuchs-Phase gestört wird und es zum Verlust der Aussaat kommen kann. Da die Folgen von Trockenheit nicht nur Renaturierungsprojekte betreffen, sondern auch landwirtschaftlich genutzte Flächen, sollte dies dennoch einen Versuch wert sein.

Hier spielt das richtige Mischungsverhältnis und die Deckung des Bodens eine entscheidende Rolle.

## 20.2 Konklusion

Diese Masterarbeit konnte beweisen, dass es möglich ist, mittels Seedballs Arten zu etablieren. Da das Feld der naturnahen Begrünung ein sehr arbeitsintensiver wie kostspieliger Bereich ist, könnte durch diese Methode Geld und Zeit eingespart werden, um große Landstriche, die durch die Verwüstung durch Naturkatastrophen oder den Menschen an Biodiversität einbüßen mussten, wieder zu begrünen.



Die hier verwendete Methode kann als Empfehlung angesehen werden, wie großsamige Grünlandarten ab einer Größe von 2,4 g / 1000 Stück Korngewicht, auf Rohböden etabliert werden können.

**Abbildung 45** Eigene Darstellung Freiland Versuch ohne Bewässerung

Jedoch muss beachtet werden, dass die Methode noch nicht ganz ausgereift ist und es weitere Studien benötigt, die Aufschluss darüber geben, welches Mischungsverhältnis der verschiedenen Komponenten sich am besten für welchen Landschaftstyp eignet.

Hier ist es von hoher Relevanz standortangepasste Zielarten zu verwenden, um einer Ausbreitung von Neophyten entgegen zu wirken. Mit der Verwendung rein biologischer Komponenten kann dafür gesorgt werden, keine chemischen Störfaktoren in die Landschaft miteinzubringen. Die Seedball-Methode stellt eine Chance dar, die hohes Potenzial in sich birgt, auch wenn ältere Studien zu Ergebnissen kamen, die die Wirksamkeit nicht immer stützten. Die häufigsten Faktoren für ein Scheitern der Begrünung waren stets Niederschlag, Verarbeitung und die Samenqualität, angepasst an den Standort.

Regen fällt nicht vom Himmel, er fällt von unten nach oben (vgl. Fukuoka 2012). Hierbei bezieht sich Fukuoka auf den biotischen Pumpeffekt (biotic pump), welcher besagt, dass Pflanzen in dicht bewachsenen Gebieten durch Evapotranspiration als Wasserpumpe wirken. Wasserdampf hat einen höheren Druck als kondensierte Tropfen. Wenn Wasserdampf aus der Vegetation über ihr kondensiert entsteht somit ein Tiefdruckgebiet, dass Wind und Regen zu sich saugt (vgl. Makarieva, Gorshkov 2010). Durch diesen Effekt könnten Vegetationsinseln durch Seedballs verbunden werden.

Nach Anfrage bei [seedballballskenya.com](http://seedballballskenya.com) konnte in Erfahrung gebracht werden, dass die größte Ausbringung 10-20 % Wachstum bei 1 Millionen Seedballs (600 kg) produziert hat, was die Kosten pro Baum auf 10-20 Ksh (0,089 €) senkt. Der relativ hohe Verbrauch an Samen und das mögliche Absterben von Keimlingen muss somit toleriert werden. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass Seedballs als Samenbank dienen und gewisse Samen erst in den darauffolgenden Jahren keimen (vgl. Jones 2014).

Die Verwendung von Seedballs, kann für die Ausbringung in schwer erreichbaren Gebieten in Betracht gezogen werden, bei denen das Setzen per Hand zu arbeitsintensiv und kostspielig wäre. Somit haben sie das Potenzial im Rahmen von Geoengineering eingesetzt zu werden um mittels Pflanzen CO<sup>2</sup> aus der Atmosphäre wieder zu binden (vgl. Bustin et al. 2019) und die Bedrohung der globalen Erwärmung abzuschwächen.

## 21 Quellenverzeichnis

- Aichele D., Schwegler H. W., Unsere Gräser, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co.KG, (2011) S. 112, 132.
- Amelung W., Blume H.P., Fleige H. Horn R, Kandeler E, Kögler-Knabner I., Kreuzschmar R., Stahr K., Wilke B. M; Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde, 17. Auflage, Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature (2018), Berlin Germany, S. 20, S. 85.
- Bastin J. F., Finegold Y., Garcia C., Mollicone D., Rezende M., Routh D., Zohner C. M., Crowther T. W., The global tree restoration potential (2019).  
DOI:10.1126/science.aax0848
- Bones J. The Seed ball Story, a video about desert habitat restoration using seed balls in Big Bend National Park, Texas (1988). online aus dem Internet URL: <https://www.youtube.com/watch?v=dWYduWsoy8o> (Zugriff 06.09.2019)
- Briemle G., Eickhoff D., Wolf R., Mindestpflege und Mindestnutzung unterschiedlicher Gründlandtypen aus landschaftsökologischer und landeskultureller Sicht, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe und der Staatlichen Lehr und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft Aulendorf, Karlsruhe (1991) S. 80, 84, 87.
- Chenelle Fernando and Dimithri Wijesinghe, the Sunday morning (2018). online aus dem Internet URL: <http://www.themorning.lk/brunch-page-10-seed-bombing/> (Zugriff 13.11.2019)
- Delfau A., On Seedballs, Google Sites (2012). online aus dem Internet URL: <https://sites.google.com/site/onseedballs/Home/What> (Zugriff 12.10.2019)
- Düll R. P. G.; Kutzelnigg H. Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co., Taschenlexikon der Pflanzen Deutschlands und angrenzender Länder, Wiebelsheim 8. Auflage (2016), S. 156, 237.
- Elliott S., Tropical Forest Restoration: Seedball Potential on Costa Rican Farmland, Technical Report (2010). DOI: 10.13140/RG.2.2.26338.53448

- Evenari M., Seed Physiology: Its History from Antiquity to the Beginning of the 20th Century. *The Botanical Review*, Vol. 50 (1984) No. 2, S. 119-142.
- Fischer M.A., Adler W, Oswald K.: *Exkursionsflora für Österreich, Lichtenstein, Südtirol* 3 Auflage, Biozentrum des Oberösterreichischen Landesmuseum (2008) S.849.
- Florineth F., *Pflanzen statt Beton. Sichern und gestalten mit Pflanzen*, Berlin -Hannover Patzer Verlag (2012), S.40-49.
- Fukuoka M., *Der Große Weg hat kein Tor, Nahrung - Anbau – Leben*, pala-verlag, Darmstadt, 4. Auflage (2018) S. 59.
- Fukuoka M., *The Natural Way of Farming, The Theory and Practice of Green Philosophy*, Madras Bookventure, 6 Auflage (2012) S. 6.
- Fukuoka M., *Makes seed balls*, (2008). online aus dem Internet: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=A4-bwW8PWl0&t=403s> (Zugriff 12.12. 2019)
- Godet J.D., *Blumen der Fett- und Trockenwiesen, Äcker und Weinberge*, Thalacker Medien Braunschweig (2004) S. 186, 236, 238, 219, 231, 202, 237.
- Halmer P., *Seed Technology and Seed Enhancement* (2008).  
DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.771.1
- Hull A. C., Holmgren R. C., Berry W. H., Wagner J. A., *Pellet seeding on western rangelands*, Agricultural Research Service and Forest Service, United States Department of Agriculture in cooperation with Bureau of Indian Affairs and Bureau of Land Management, United States Department of the Interior, Washington D.C. (1963) S. 1, 3, 6, 9, 30, 31.
- Ino T., *Effect of Seedballs in Native Plant Restoration at Muir Woods National Monument* (2002).
- Jones L. C., Schwinning S., Esque T. C., *Seedling Ecology and Restoration of Blackbrush (*Coleogyne ramosissima*) in the Mojave Desert, United States*, *Restoration Ecology* (2014). DOI: 10.1111/rec.12128

- Kaufmann G. Seed coating: A tool for stand establishment, a stimulus to seedquality, HortTechnology, American Society for Horticultural Science (1991) S. 99.  
DOI:<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.1.1.98>
- KEW Royal Botanical Gardens, (2019). online aus dem Internet URL:  
<https://data.kew.org/sid/SidServlet?Clade=&Order=&Family=&APG=off&Genus=Pennisetum&Species=glaucum&StorBehav=0&WtFlag=on>  
(Zugriff 24.09.2019)  
<http://data.kew.org/sid/SidServlet?Clade=&Order=&Family=&APG=off&Genus=Achillea&Species=millefolium&StorBehav=0> (Zugriff 15.10.2019)  
<http://data.kew.org/sid/SidServlet?Clade=&Order=&Family=&APG=off&Genus=Festuca&Species=rubra&StorBehav=0> (Zugriff 15.10.2019)
- Kiehl K., Kirmer A., Donath T.W., Rasran L., Hölzel N., Species introduction in restoration projects – Evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwestern Europe (2010).  
<https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.004>
- Kirmer A. Tischew S., Handbuch naturnahe Begrünung von Rohböden, B.G. Teubner Verlag Wiesbaden (2006) S. 28-29.
- Lucas S., Seed Ball Experiment – Final Report, Puente Hills Landfill Native Habitat Preservation Authority, (2011).
- Madsen M. D., Hulet A., Phillips K., Stanley J. L., Davies K. W., Svejcar T. J., Extruded seed pellets: a novel approach for enhancing sagebrush seedling emergence, Native Plants Journal, Vol. 17. (2016). DOI: 10.3368/npj.17.3.230
- Makarieva A. M., Gorshkov V., The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamic and climate, International Journal of Water, Vol 5, (2010).  
DOI: 10.1504/IJW.2010.038729
- Mertz P., Pflanzengesellschaften Mitteleuropas und der Alpen: Erkennen - Bestimmen - Bewerten; ein Handbuch für die vegetationskundliche Praxis, Landsberg, Lech: ecomed, (2000), S. 202.

- Nwankwo C. I., Mühlena J., Biegert K., Butzer D., Neumann G., Sy O., Herrmann L.,  
Physical and chemical optimisation of the seedball technology addressing pearl  
millet under Sahelian conditions, *Journal of Agriculture and Rural Development  
in the Tropics and Subtropics* Vol. 119 No. 2 (2018). doi:10.17170/kobra-  
2019011596
- Oberndorfer E.: *Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und  
angrenzende Gebiete*. 8. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (2001) S.  
S.369, 892, 893.
- Partzsch, M. Zur Keimungsbiologie von zehn ausgewählten Ruderal- und  
Xerothermrasenarten Teil 4: Fabaceae Xerothermrasenarten – Teil 4 :  
Fabaceae, (2015).
- Pedriani S., Merritt D. J., Stevens J., Dixon K., Seed coating: Science or Marketing  
Spin? *Trend in Plant Science* (2017), Vol. 22. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.002>
- Plinius (Gaius Plinius Secundus), Books XII-XIX, 2 Vols. Loeb Classical Libr.  
Heinemann, London and Harvard Univ. Press, Boston. (1960, 1971).
- Reynolds R. *Guerilla Gardening*, orange-press GmbH (2009) S. 109.
- Roudy B. A., *Lessons from the Past-Gilbert L. Jordan's Revegetation Research in the  
Chihuahuan and Sonoran Deserts*, (1995).
- Shashidharan N., *Analysis of low cost reforestation techniques in dry deciduous forests  
in South India. A Case Study: Lakkere Reserve Forest, Karnataka. Technical  
Report*, (2012). DOI: 10.13140/RG.2.1.5024.9764
- Stadt Wien, Magistrat der Stadt Wien, [wien.gv.at](http://wien.gv.at), (2019) Online aus dem Internet:  
URL: <https://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/niederschlag.html>  
(Zugriff 14.10.2019)  
<https://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/lufttemperatur.html>  
(Zugriff 14.10.2019)

Stinson K., Campbell S., Powell J., Wolfe B., Callaway R., Thelen G., Hallet S., Prati D., Klironomos J., Invasive Plant Suppresses the Growth of Native Tree Seedlings by Disrupting Belowground Mutualisms (2006).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040140>

Taylor A. G., Allen P. S., Bennett M. A., Bradford K. J., Burris J. S., Misra M. K., Seed enhancements, *Seed Science Research* (1998) 8, 245-256.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960258500004141>

U.S. Army Corps of Engineers, Investigation of seed bombs for military lands, Public works technical bulletin 200-1-103, Department of the Army, Washington D.C. (2011).

Williams M. I., Dumroese R. K., Page-Dumroese D. S., Hardegree S. P., Can biochar be used as a seed coating to improve native plant germination and growth in arid conditions? *Journal of Arid Environments* 125 (2016) 8-15.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.09.011>

## 22 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Eigene Darstellung Versuchsbeginn .....	21
Abbildung 2 Eigene Darstellung. Zählen des Saatgutes und Portionierung in 200 Caps .....	24
Abbildung 3 Eigene Darstellung .....	25
Abbildung 4 <i>Campanula rapunculoides</i> Darstellung von Sturm Jacob (1796).....	28
Abbildung 5 <i>Achillea millefolium</i> Sturm Jacob (1796).....	29
Abbildung 6 <i>Leonthodon hispidus</i> Lindman Carl Axel Magnus (1901).....	30
Abbildung 7 <i>Festuca rubra</i> Sturm Jacob (1796).....	31
Abbildung 8 <i>Dianthus carthusianorum</i> Jacob Sturm (1796).....	32
Abbildung 9 <i>Centaurea jacea</i> Sturm Jacob (1796).....	33
Abbildung 10 <i>Salvia pratensis</i> Step Edward (1895).....	34
Abbildung 11 <i>Arrhenatherum elatius</i> Lindman Carl Axel Magnus (1917).....	35
Abbildung 12 <i>Anchusa officinalis</i> Sturm Jacob (1796).....	36
Abbildung 13 <i>Knautia arvensis</i> Sturm Jacob (1796) .....	37
Abbildung 14 Eigene Darstellung, Keimung in Seedballs .....	38
Abbildung 15 Eigene Darstellung Sprengkraft der Samen.....	38
Abbildung 16 Eigene Darstellung Schneckenfraß, Erosion, Trockenheit .....	38
Abbildung 17 Eigene Darstellung Wachstum .....	39
Abbildung 18 <i>Campanula rapunculoides</i> Aufnahmen September .....	40
Abbildung 19 <i>Campanula rapunculoides</i> Aufnahmen Juli.....	40
Abbildung 20 <i>Achillea millefolium</i> Aufnahmen Juli.....	41
Abbildung 21 <i>Achillea millefolium</i> Aufnahmen September.....	41
Abbildung 22 <i>Leonthodon hispidus</i> Auswertung September.....	42
Abbildung 23 <i>Leonthodon hispidus</i> Auswertung Juli.....	42
Abbildung 24 <i>Festuca rubra</i> Auswertung Juli .....	43
Abbildung 25 <i>Festuca rubra</i> Auswertung September .....	43
Abbildung 26 <i>Dianthus carthusianorum</i> Auswertung September .....	44
Abbildung 27 <i>Dianthus carthusianorum</i> Auswertung Juli .....	44
Abbildung 28 <i>Centaurea jacea</i> Auswertung September .....	45
Abbildung 29 <i>Centaurea jacea</i> Auswertung Juli .....	45
Abbildung 30 <i>Arrhenatherum elatius</i> Auswertung September.....	46
Abbildung 31 <i>Arrhenatherum elatius</i> Auswertung Juli.....	46
Abbildung 32 <i>Salvia pratensis</i> Auswertung Juli .....	47
Abbildung 33 <i>Salvia pratensis</i> Auswertung September .....	47
Abbildung 34 <i>Anchusa officinalis</i> Auswertung September .....	48
Abbildung 35 <i>Anchusa officinalis</i> Auswertung Juli .....	48
Abbildung 36 <i>Knautia arvensis</i> Auswertung Juli.....	49
Abbildung 37 <i>Knautia arvensis</i> Auswertung September .....	49
Abbildung 38 Eigene Darstellung Sameneinflug Kontrollschalen .....	50
Abbildung 39 Eigene Darstellung sonstige eingeflogene Arten .....	51
Abbildung 40 Gesamtdeckung Juli.....	53
Abbildung 41 Gesamtdeckung September.....	53
Abbildung 42 Eigene Darstellung Verteilung der Mittelwerte der Deckungsgrade beider treatments .....	55
Abbildung 43 Eigene Darstellung Vegetationsinseln durch Seedballs.....	56
Abbildung 44 Eigene Darstellung – optimale Verteilung des Saatgutes im Seedball .....	57
Abbildung 45 Eigene Darstellung Freiland Versuch ohne Bewässerung.....	59

## 23 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Eigene Darstellung Pretest .....	19
Tabelle 2 Eigene Darstellung Saatgutwahl und Gewichtsstaffelung.....	20
Tabelle 3 Eigene Darstellung Samenanzahl/Seedball .....	23
Tabelle 4 Eigene Darstellung Keimfähigkeit .....	25
Tabelle 5 Endergebnisse .....	52
Tabelle 6 Datengrundlage/Auswertungsbogen Juli.....	68
Tabelle 7 Datengrundlage/Auswertungsbogen September.....	69





