



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Eidg. Forschungsanstalt
für Wald, Schnee und Landschaft

Bachelor-Arbeit (Naturwissenschaften)

Studiengang Umweltnaturwissenschaften

Auswirkungen von Wasseraufenthalt und Abstürze der Samen der *Myricaria germanica*

Referentin: Sabine Fink
Departement Umweltsystemwissenschaften, ETH Zürich

Korreferent: Christoph Scheidegger
Departement Umweltsystemwissenschaften, ETH Zürich

Mirjam Schibler
(16-941-429)

29 Februar 2020

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	4
2. Einleitung.....	5
3. Methoden.....	8
3.1. Myricaria germanica.....	8
3.1.1. Verbreitung und Habitat.....	8
3.1.2. Fortpflanzung.....	9
3.1.3. Genetische Vielfalt.....	11
3.1.4. Gefährdung.....	11
3.2. Feldarbeit.....	12
3.2.1. Standort.....	12
3.2.2. Samenentnahme.....	14
3.3. Experimentelle Anordnung.....	15
3.3.1. Verlängerte Wasseraufenthalte.....	16
3.3.2. Verhalten der Samen auf der Wasseroberfläche.....	17
3.3.3. Pappus und Vorbefeuchtung der Samen.....	17
3.3.4. Abstürze im Wasser.....	19
3.4. Statistische Auswertung.....	20
4. Resultate.....	22
4.1. Verlängerte Wasseraufenthalte.....	22
4.2. Verhalten der Samen auf der Wasseroberfläche.....	23
4.3. Pappus und Vorbefeuchtung der Samen.....	23
4.4. Abstürze im Wasser.....	27
4.5. Datenerhebung.....	29
5. Diskussion.....	31
5.1. Verlängerte Wasseraufenthalte.....	31
5.2. Pappus und Vorbefeuchtung.....	31
5.3. Abstürze im Wasser.....	32
5.4. Implikationen.....	33
5.5. Methodenkritik.....	34
6. Schlussfolgerung.....	36
7. Literaturverzeichnis.....	37
8. Abbildungsverzeichnis.....	40
9. Anhang.....	41
9.1. Excel Daten.....	41

9.1.1.	Experiment 1.....	41
9.1.2.	Experiment 2.....	41
9.1.3.	Experiment 3.....	42
9.2.	R Output	43
9.2.1.	Experiment 1.....	43
9.2.2.	Experiment 2.....	50
9.2.3.	Experiment 3.....	68
9.3.	Eigenständigkeitserklärung.....	85

1. Zusammenfassung

Im Verlauf des 20. Jahrhundert wurden zahlreiche wasserbauliche Massnahmen an den Schweizer Fliessgewässern vorgenommen, was zu einer massiven Degradierung des Ökosystems Fliessgewässer geführt hat. In dieser Arbeit werden die Auswirkungen auf die Samenverbreitung der flussautotypischen Art *Myricaria germanica* via Wasser untersucht. Untersucht wurden verlängerte Wassertransporte aufgrund des Durchquerens der Samen von kanalisierten Flussabschnitten und Abstürze im Wasser aufgrund künstlicher Hindernisse.

Die Samen wurden im Labor den Behandlungen verlängerte Wasseraufenthalte, Vorbefeuchtung der Samenhülle, Entfernung des Pappus und Abstürze der Samen im Wasser unterzogen und danach auf ihre Keim- und Schwimmfähigkeit getestet. Die Keimfähigkeit wurde durch verlängerte Wasseraufenthalte und Vorbefeuchtung der Samenhülle positiv beeinflusst, wohingegen Abstürze im Wasser keinen Einfluss hatten. Die Schwimmfähigkeit von Samen ohne Pappus wurde durch eine Vorbefeuchtung der Samenhülle und Abstürze im Wasser vermindert, während Samen mit Pappus unbeeinträchtigt blieben.

Insbesondere die Auswirkungen von künstlichen Hindernissen auf die Samenverbreitung sind bisher wenig erforscht und somit ist weiterführende Forschung in diesem Bereich nötig. Die Ergebnisse aus dieser Arbeit liefern erste Hinweise, dass weder verlängerte Wasseraufenthalte noch der direkte Aufprall von intakten Samen auf der Wasseroberfläche negative Auswirkungen auf die Samenverbreitung haben. Jedoch müssen die Ergebnisse aus dieser Arbeit bestätigt werden und die Auswirkungen von anderen Aspekten künstlicher Hindernisse auf die Samenverbreitung untersucht werden.

2. Einleitung

Fliessgewässer und Flussauen sind zentrale Landschaftselemente, welche durch ausgeprägte Abfluss- und Geschiebedynamiken mit Phasen von Hochwassern und Trockenheit, sowie Erosion und Sedimentation gekennzeichnet sind. Diese Bedingungen gestalten kontinuierlich ein Mosaik an unterschiedlichsten Habitaten, wodurch eine besonders hohe Artenvielfalt entsteht (BUWAL, 2005; Fink, Lanz, Stecher, & Scheidegger, 2017). Schätzungen zufolge lebt rund ein Drittel der Schweizer Flora in Auen, obwohl sie mit 0,55 % nur einen kleinen Anteil der Schweizer Landesfläche ausmachen (Werth et al., 2012).

Die Fliessgewässer sind die treibende Kraft für die Dynamiken in den Kiesfluren und Auenwäldern, welche räumlich an die Fliessgewässer anschliessen (Delarze, Gonseth, & Galland, 2008). Die Fliessgewässer selber werden vor allem durch das Vorkommen tierischer Organismen charakterisiert, da Pflanzengesellschaften hier oft nicht vorkommen. Auf den Sand- und Kiesbänken in den Schwemmebenen der Flüsse kommen neben krautigen Pionierpflanzen auch schnell wachsende Weidengebüsche vor, die nach Hochwassern zu rascher Regeneration fähig sein müssen (Delarze et al., 2008). Die Auenwälder, die noch im Hochwasserbereich stehen, werden durch feuchtigkeitsliebende Arten dominiert. Die vorkommenden Baumarten sind von der Frequenz und Stärke der Hochwasser abhängig. Sie erstrecken sich von Pionierwäldern mit Weiden, Pappeln und Erlen bis zu reifen Wäldern mit Eschen, Eichen und Ulmen (Delarze et al., 2008).

Die Auen in der Schweiz haben einen dramatischen Rückgang zu verzeichnen (Lachat et al., 2010). Zahlreiche wasserbauliche Massnahmen zur Nutzung der Fliessgewässer und zum Schutz vor den Gefahren der Fliessgewässer wurden in den letzten 150 Jahren vorgenommen. Zu den Massnahmen gehören unter anderem Flussbegradigungen zur Gewinnung von Landwirtschaftsland, Uferverbauungen zur Realisierung von Hochwasserschutz und der Einbau von Wasserkraftwerken zur Stromproduktion (BAFU, 2012). Die Konsequenzen für die Fliessgewässer sind Geschiebedefizite, Eingrabungen der Flüsse ins Flussbett und unnatürlicher, alternierender Schwall und Sunk (BAFU, 2012). In der Folge führte dies zu einer Verschlechterung der Lebensraumqualität (Lachat et al., 2010). Das Umland trocknete aus und es siedelten sich weniger typische Pflanzengesellschaften an, welche an trockenere Bedingungen angepasst sind. Dadurch wurde die ursprüngliche Vegetation verdrängt (Lachat et al., 2010). Inzwischen ist etwa 90 % der ursprünglichen Auenfläche verschwunden (Lachat et al., 2010).

Eine Erhebung des Bundesamt für Umwelt ergab, dass 22 % der gesamten Länge der Schweizer Fliessgewässer stark beeinträchtigt sind (Zeh Weissmann, Könitzer, & Bertiller, 2009). Dies wurde anhand mehrerer Kriterien beurteilt, darunter das Ausmass der Sohlen- und Böschungsverbauung, die Breite und Bewuchs des Uferbereiches und die Variabilität des Wasserspiegels. Der Anteil beeinträchtigter Flüsse nimmt mit der Höhe ab, wobei 46 % der Beeinträchtigungen unterhalb von 600 m bestehen. Neben den flachen Flussabschnitten, die aufgrund der artenreichen Schwemmebenen und Auengebiete ökologisch besonders wertvoll sind, sind auch die Flüsse in Landwirtschafts- und Siedlungsgebieten unverhältnismässig stark

betroffen (Zeh Weissmann et al., 2009). Von den Habitaten der grossen Schweizer Flüssen (Aare, Rhein, Rhone, Reuss, Limmat) sind nur ca. 1/3 in sehr gutem Zustand (Zeh Weissmann et al., 2009).

Ein weiteres Problem ist die ungenügende Längsvernetzung aufgrund eingebauter künstlicher Hindernisse (Zeh Weissmann et al., 2009). Künstliche Querbauten sind ein unüberwindbares Hindernis für viele aquatische Arten und kanalisierte Flussabschnitte bieten kein geeignetes Habitat für Flussaunpflanzen (Göggel & Wagner, 2006; Werth, Schödl, & Scheidegger, 2014). Besonders für Arten, die Metapopulationen bilden, ist dies ein Problem, da ihr langfristiges Fortbestehen eine gute Vernetzung ihrer Metapopulationen voraussetzt. Standorte, welche durch das Aussterben einer lokalen Populationen frei geworden sind, müssen durch Individuen aus anderen Populationen wiederbesiedelt werden (Werth et al., 2014). Auch die genetische Vielfalt der Arten wird durch mangelnde Vernetzung reduziert. Sowohl künstliche Dämme als auch natürliche Barrieren (Schluchten) können zu genetischer Isolierung von Populationen führen, wenn sie für die Art unüberwindbar sind (Werth et al., 2014). Ausserdem können Fliessgewässer als Ausbreitungskorridore für invasive Neophyten dienen, wovon einige in direkter Konkurrenz mit einheimischen Arten stehen (Lachat et al., 2010).

An vielen Schweizer Fliessgewässern werden darum inzwischen Gewässerrevitalisierungen durchgeführt. Kenntnisse über die Habitatsansprüche und Verbreitungsmechanismen der auen- und fliessgewässertypischen Vegetation sind äusserst wichtig, wenn die Revitalisierungen zu einem wesentlichen Biodiversitätszuwachs führen sollen. Beispiele aus der Vergangenheit haben gezeigt, dass vor allem die Vernetzung der Habitate ein wichtiger Faktor ist (Lachat et al., 2010).

Als Zusammenspiel dieser Faktoren wird in dieser Arbeit die Samenausbreitung der flussautentypischen Pflanze *Myricaria germanica* via Wasser (Hydrochorie) untersucht. Lener, Egger, & Karrer (2013) beschreiben die Art folgendermassen: «Sie besitzt aufgrund ihrer sehr spezifischen Lebensraumsansprüche einen hohen naturschutzfachlichen Indikatorwert für ökologisch intakte naturnahe Auen und Ufer alpiner Fliessgewässer». Als Pionierart ist sie auf die Dynamiken der natürlichen Fliessgewässer durch regelmässige Überschwemmungen angepasst und wird bei Ausbleiben dieser Dynamiken rasch durch stärkere Konkurrenten wie *Salix* verdrängt (Lener, 2011). Untersuchungen der Vorkommen der *M. germanica* können somit wichtige Informationen über den Zustand der Fliessgewässer liefern. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf negativen Auswirkungen von anthropogen veränderten Fliessgewässern auf die Hydrochorie der *M. germanica*.

M. germanica verbreitet ihre Samen via Wind und Wasser (Lener, 2011). An dem sehr leichten Gewicht und dem Haarschopf lässt sich hauptsächlich eine Anpassung an die Samenverbreitung via Wind beobachten (Lener, 2011). Experimente zur Schwimmfähigkeit haben jedoch gezeigt, dass die Samen bis zu 60 Stunden in turbulentem Wasser schwimmfähig sind, wodurch Ausbreitungen via Wasser selbst über weite Distanzen möglich sind (H.-C. Bill, Poschlod, Reich, & Plachter, 1999). Es gibt bisher jedoch wenige Untersuchungen zur Relevanz der Samenverbreitung durch Wasser, da Ausbreitungen über

weite Distanzen schwierig zu untersuchen sind. Experimente mit künstlichen Samen haben aber gezeigt, dass jeweils nur ein kleiner Anteil der Samen über weite Distanzen transportiert wird (Bang, Nilsson, & Holm, 2007). Auch für *M. germanica* wird davon ausgegangen, dass Ausbreitungen über weite Distanzen selten vorkommen (Fink et al., 2017), die jedoch trotz ihrer Seltenheit einen wichtigen Beitrag zur genetischen Vielfalt der Art liefern (Ouborg, Piquot, & Van Groenendael, 1999).

Die Samen der *M. germanica* zeigen eine sehr hohe Keimfähigkeit. In der Literatur wurden Keimraten von 78 % (Fink et al., 2017), 92 % (Mörz, 2013), 98 % für frische Samen und über 94 % für im Kühlschrank gelagerte Samen (Lener et al., 2013) berichtet. Jedoch nimmt die Keimfähigkeit relativ rasch ab und fällt nach 2 Wochen unter 50 %. Somit kann die Art keine Samenbank ausbilden (H. C. Bill, Spahn, Reich, & Plachter, 1997).

In einer Arbeit von Werth et al. (2014) wurden die Auswirkungen von künstlichen Barrieren in Flussläufen auf die genetische Vielfalt der Populationen der *M. germanica* untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine genetische Differenzierung zwischen Populationen, die durch künstliche Dämme sowie natürliche Schluchten voneinander getrennt sind. Kanalisierte Flussabschnitte verursachten jedoch keine genetische Isolierung, da die kanalisierten Flussabschnitte kürzer als 1 km waren. Gründe für diese genetische Isolierung sind eine reduzierte Samenverbreitung via Wasser und Wind und ein Mangel an geeigneten Habitaten (Werth et al., 2014). In dieser Arbeit soll untersucht werden ob der verlängerte Wassertransport der Samen in Schluchten und kanalisierten Flussabschnitten für die reduzierte Samenverbreitung via Wasser verantwortlich ist.

In Schweizer Fließgewässern sind 101 000 künstliche Hindernisse mit einer Höhe über 50 cm eingebaut (Zeh Weissmann et al., 2009). Abstürze mit einer Höhe über 70 cm sind für typische aquatische Organismen nicht überwindbar (Göggel & Wagner, 2006). Es ist aber nicht bekannt, inwiefern solche Hindernisse die Samenausbreitung von flussauentypischen Pflanzen via Wasser beeinträchtigen. In dieser Arbeit sollen die möglichen negativen Auswirkungen der Hindernisse auf die Samenverbreitung durch den Absturz der Samen im Wasser untersucht werden.

Daher stehen im Fokus dieser Arbeit folgende Hypothesen:

1. Eine erhöhte Verweildauer der Samen im Wasser vermindert die Keimfähigkeit.
2. Das Entfernen des Pappus und Vorbefeuchten der Samen vermindert die Keim- und Schwimmfähigkeit.
3. Ein Absturz der Samen im Wasser vermindert die Keim- und Schwimmfähigkeit.

3. Methoden

3.1. *Myricaria germanica*

Die *Myricaria germanica* (deut. Deutsche Tamariske) ist die einzige Vertreterin der Familie Tamariskengewächse (*Tamaricaceae*) in der Schweiz (Lauber & Wagner, 1998). Lauber & Wagner (1998) beschreiben die Morphologie der Art folgendermassen «Bis 2 m hoher Strauch mit rutenartigen Zweigen. Blätter lineal-lanzettlich, 2-5 mm lang, bläulich-grün, sich oft dachziegelig überdeckend. Blüten blassrosa, in endständigen, ährenartigen Blütenständen.». Die Laubblätter verfügen über einen xenomorphen Bau, wodurch die Pflanze an zeitweilige Trockenheit anpasst ist und die Evaporation reduzieren kann (Lener et al., 2013).



Abbildung 1: Adulte *Myricaria germanica* (Aufnahme: 23.07.2019) am Rhein bei Zizers

In der Literatur gibt es unterschiedliche Angaben zum Höchstalter. Es wurden bereits Individuen gefunden, die mindestens 70 Jahre alt waren (Lener et al., 2013). Aufgrund häufiger Veränderungen der Habitats durch regelmässige Hochwasser oder Verdrängung durch Konkurrenz werden die Individuen aber im Normalfall nicht älter als 10 bis 15 Jahre (Kudrnovsky, 2005).

3.1.1. Verbreitung und Habitat

Der Ursprung der Gattung *Myricaria* liegt in der Region des Himalayas. *M. germanica* hat eine eurasiatische Verbreitung in gebirgigen Regionen. Die Verbreitung reicht vom (süd)westlichen Randgebirge des tibetischen Hochlandes über den Kaukasus bis zu den Pyrenäen im Westen (Kudrnovsky & Stöhr, 2013). Zudem hat sich die Art in Neuseeland als Neophyt etabliert (Heenan et al., 1999). In der Schweiz kommt sie in der kollinen bis subalpinen Höhenstufe (500 m bis 2100 m) vor. Ihren Verbreitungsschwerpunkt hat sie im Südosten des Landes in den Kantonen Graubünden und Tessin (Lauber & Wagner, 1998; Werth & Scheidegger, 2014). Delarze, Gonseth, & Galland (2008) verzeichnen sie zusammen mit *Salix daphnoides* und *S. elaeagnos* als Charakterart der Auen-Weidengebüsch-

Gemeinschaft *Salicion elaeagni*. Moor (1958) hingegen benennt die Gemeinschaft mit den gleichen drei Charakterarten als *Salici-Myricarietum*, die Weiden-Tamarisken-Gesellschaft.

Sie ist eine Pionierart, die an Fließgewässerdynamiken und der daraus resultierenden mechanischen Belastung durch Hochwasser angepasst ist (Werth et al., 2014). Mit tiefen und kräftigen Pfahlwurzeln verankert sie sich im Kies und biegsame Äste verhindern ein Mitreissen bei Hochwasser (H. C. Bill et al., 1997; Ellenberg & Leuschner, 2010). Durch Stockausschläge und Adventivwurzeln hat sie ein sehr hohes Regenerationspotenzial und selbst bei einer Überlagerung mit Kies kann sie wieder austreiben (Delarze et al., 2008; Schletterer & Scheiber, 2008).

Sie kommt hauptsächlich auf Sandbänken vor, die alle 4 bis 5 Jahre überschwemmt werden. Kommen Überschwemmungen häufiger als alle 2 Jahre vor, überleben die Keimlinge nicht (Gostner, Paternolli, Schleiss, Scheidegger, & Werth, 2017). Bleiben die Hochwasser jedoch gänzlich aus, wird sie schnell durch Weiden-Gebüsche verdrängt, da sie aufgrund ihres hohen Lichtbedarfes eine konkurrenzschwache Art ist (Lener et al., 2013; Schletterer & Scheiber, 2008). Die Böden müssen einen hohen Anteil von schlickartigem Feinsand aufweisen (H. C. Bill et al., 1997). Die häufigen Überflutungen oder andauernd hohe Grundwasserstände sind erforderlich, damit der Boden gut durchfeuchtet ist. Daher verschwindet sie, wenn sich die Flüsse in das Flussbett eingraben oder über längere Zeiträume wenig Wasser führen (Kudrnovsky, 2011).

3.1.2. Fortpflanzung

M. germanica wird einerseits von Insekten bestäubt, andererseits macht sie auch Selbstbestäubung (Werth et al., 2014). Die Blütezeit ist jeweils von Juni bis August (Lener et al., 2013). Sie gehört in die Gruppe der Schirmflieger, und ihre Samen besitzen pinselartige Haarschöpfe, auch Pappus genannt. Diese dienen als Flugapparat und bremsen fallschirmartig (P. Müller, 1956). Die Früchte besitzen kein Nähr- oder Speichergewebe, was die Ausbildung einer Samenbank verhindert (H. C. Bill et al., 1997). Das geringe Gewicht und die Haarstrukturen der Samen sind ideal für ihre Ausbreitung durch Wind (anemochor) und Wasser (hydrochor). Zudem verbreitet sie sich auch über vegetative Vermehrung (H. C. Bill et al., 1997; Lener et al., 2013). Sie hat eine extrem grosse Samenproduktionsleistung. Während eine Fruchtkapsel über 100 Samen enthält, kann je nach Alter und Grösse ein einzelnes Individuum 9'000 bis 12'700'000 Samen produzieren (Lener, 2011).



Abbildung 2: Blüten und geschlossene Samenkapseln
(Aufnahme: 23.07.2019) am Rhein bei Zizers



Abbildung 3: geöffnete Samenkapseln und Samen
(Aufnahme: 17.06.2019) am Rhein bei Zizers

Erfolgreiche Verjüngung erfolgt relativ selten, da die Ansprüche der Keimlinge an die Standortsbedingungen sehr hoch sind. Zu Beginn weisen die Samen zwar hohe Keimraten auf, diese lassen aber innerhalb 48 h schnell nach. Im ersten Jahr ist das Wachstum sehr langsam, da viel in das Wurzelwachstum investiert wird. In dieser Zeit ertragen sie auch nur geringe Wasserstandschwankungen, weshalb die Keimungsstandorte ausserhalb der Schwankungsbreite des Abflusses liegen müssen. Trotzdem müssen die Böden gut durchfeuchtet und reich an Feinsedimenten sein. Da die Keimlinge stark lichtbedürftig sind, können sie in dichten Beständen nicht überleben (H. C. Bill et al., 1997; Lener et al., 2013).

Die meisten Samen landen direkt neben der Mutterpflanze. Der grösste Teil davon überlebt jedoch nicht, da die Keimung aufgrund fehlender Bodenfeuchtigkeit und Licht verhindert wird. Es wurden maximale Flugdistanzen bis zu 100 m gemessen. Die Anzahl Samen nimmt nach 10 m jedoch bereits stark ab, sodass solche weiten Flugdistanzen eine Ausnahme darstellen. Samenverbreitung über lange Distanzen durch Wind sind extreme, seltene Ereignisse, sodass die Ausbreitung über lange Distanzen vermutlich am häufigsten durch Wasser erfolgt (Fink et al., 2017). *M. germanica* Samen können bis zu 60 Stunden in turbulentem Wasser schwimmen (H.-C. Bill et al., 1999), demnach sollten Ausbreitungen über lange Distanzen möglich sein. Da solche Ausbreitungsereignisse über lange Distanzen jedoch seltene Ereignisse sind, sind sie schwierig zu untersuchen (Nathan, 2006). In Experimenten mit künstlichen Nachahmungen von Samen hat eine kleine, aber beträchtliche Menge der künstlichen Samen Distanzen von 2.5 km zurückgelegt und die weitesten zurückgelegten Distanzen betragen 3.5 km (Bang et al., 2007). Damit sind Ausbreitungen über sehr lange Distanzen im Vergleich zu Ausbreitungen über kurze Distanzen selten, kommen jedoch vor (Werth et al., 2014).

3.1.3. Genetische Vielfalt

M. germanica bildet Metapopulationen. Nach lokalem Aussterben einer Metapopulation ist sie auf die Wiederbesiedlung durch Individuen aus anderen Metapopulationen angewiesen. Der Genfluss zwischen den Populationen findet sowohl flussaufwärts als auch flussabwärts statt und auch zwischen Populationen an unterschiedlichen Flusseinzugsgebieten. Die genetische Isolierung nimmt aber mit grösser werdender Distanz zwischen den Populationen zu (Werth & Scheidegger, 2014).

Die funktionelle Vernetzung der unterschiedlichen Habitate ist essentiell für das langfristige Fortbestehen der Art. Staudämme unterbinden diese Vernetzung jedoch. Populationen oberhalb und unterhalb von Stauseen weisen eine starke genetische Differenzierung auf. Trotz ihrer hohen Ausbreitungsfähigkeit via Wasser und Luft sind Stauseen für Samen offenbar sehr schwierig zu überwinden. Die Staudämme beeinflussen auch die Menge an Sedimenten, welche unterhalb vom Staudamm im Fluss vorhanden sind. Vor allem grosse Stauseen können die Sedimente zurückhalten und somit ein Defizit an Sedimenten im Fluss unterhalb des Staudammes verursachen. Dies führt zu einer Eingrabung des Flusses und einer Senkung des Wasserspiegels, wodurch die Habitate der *M. germanica* degradieren. In kleineren Stauseen werden die Sedimente teilweise durch künstliche Flutungen freigesetzt, wodurch direkt unterhalb des Stausees riesige Mengen an Sedimenten abgelagert werden. Ganze *M. germanica* Pflanzen können dadurch fortgeschwemmt werden unter Sedimenten begraben werden. Unterhalb mancher Staudämme gibt es jedoch *M. germanica* Populationen (Werth et al., 2014).

Auch natürliche Barrieren wie Schluchten, bewirken eine genetische Differenzierung zwischen den Metapopulationen (Werth et al., 2014). Zwar unterbinden Schluchten die Samenverbreitung nicht völlig. Sie gelten aber als halbdurchlässig, da solche Flussabschnitte keine geeigneten Habitate und somit kaum Besiedlungsmöglichkeiten bieten. Dadurch fehlen Trittsteine zwischen den Metapopulationen, welche den Austausch von genetischem Material ermöglichen würden. Aufgrund Turbulenzen im Wasser können die Samen auch absinken (Werth et al., 2014). Für anthropogene Barrieren wie kanalisierte Flussabschnitte wurde in einer Studie von Werth et al. (2014) kein solcher Effekt gefunden. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass die Länge der untersuchten kanalisierten Flussabschnitte 1 km nicht überschritt (Werth et al., 2014). Die Länge der Barriere hat somit vermutlich einen Einfluss auf das Ausmass der genetischen Isolierung.

Die Isolierung zwischen den Metapopulationen hat ein erhöhtes Aussterberisiko zur Folge. Für das langfristige Überleben muss die Neubesiedlungsrate grösser als die Aussterberate sein. Bei unterbrochener Vernetzung ist dies jedoch oftmals nicht gegeben (Werth et al., 2014).

3.1.4. Gefährdung

In der Schweiz wird *M. germanica* auf der Roten Liste als verletzlich (VU) eingestuft. Eine Abnahme der Populationsgrösse und der geografischen Verbreitung sowie eine

Fragmentierung der noch vorhandenen Bestände hat in den letzten 150 Jahren zu einer dramatischen Bestandesreduktion geführt (Bornand et al., 2016; Lener et al., 2013). Gesetzlich ist sie aber nicht geschützt (Schweizerischer Bundesrat, 1991).

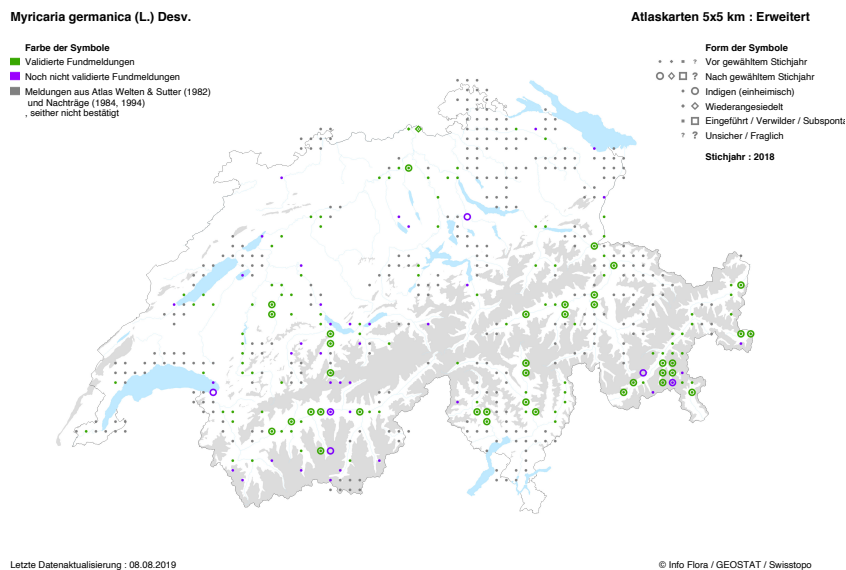


Abbildung 4: Verbreitung der Vorkommen der *Myricaria germanica* in der Schweiz vor 2018 (grau) und nach 2018 (grün).
Quelle: Info Flora (<https://www.infoflora.ch/de/flora/myricaria-germanica.html#ecology>). Zugriff: 08.08.2019

In Deutschland und Österreich wird sie als «vom Aussterben bedroht» und in Slowenien als stark bedroht eingestuft (Kudrnovsky, 2005).

3.2. Feldarbeit

3.2.1. Standort

Die verwendeten Samen stammen von einer Population am Alpenrhein in der Nähe der Gemeinde Zizers (siehe rote Markierung in Abbildung 5).

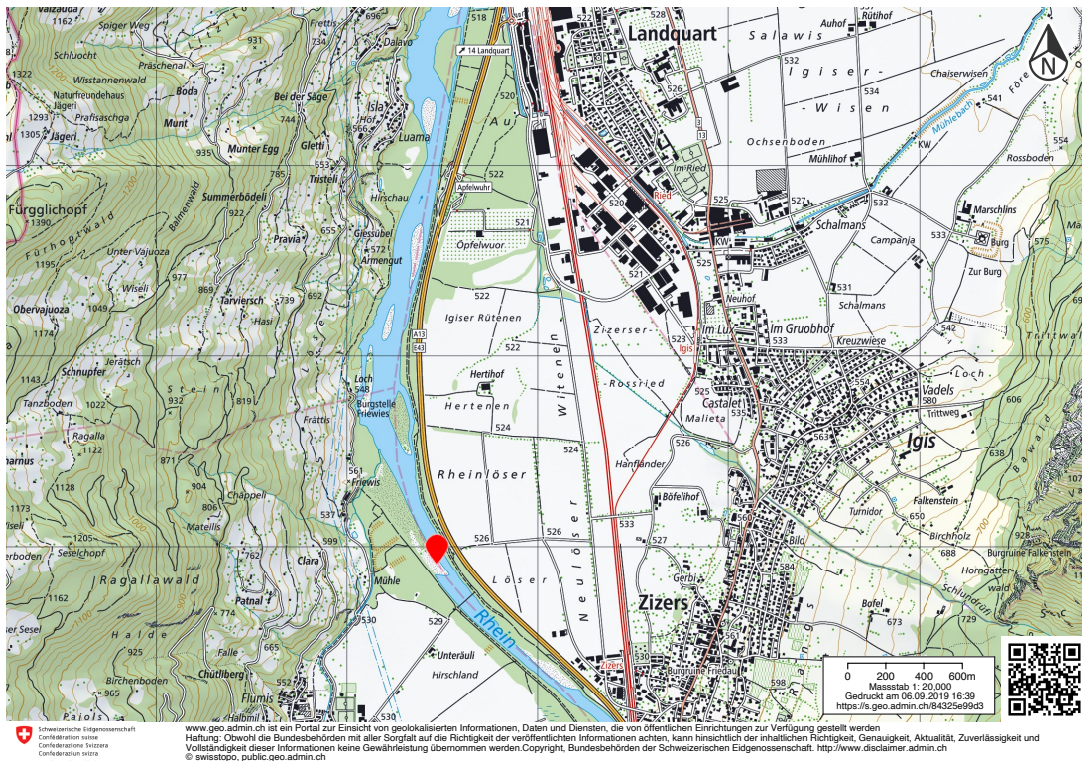


Abbildung 5: Der Fluss Rhein und sein Verlauf zwischen Zizers und Landquart. Der Ort der Feldarbeit ist rot markiert. Quelle: Bundesamt für Landestopographie (map.geo.admin.ch) Zugriff: 06.09.2019

Zum Zeitpunkt der Feldarbeit war die Kiesbank durch eine vorangehende starke Überschwemmung zu einem grossen Teil abgetragen. Der vordere Teil, welcher in der Abbildung 6 bis zur Brücke reicht und flächendeckend rot markiert ist, war verschwunden. Daher wurde die Beprobung der Pflanzen im mittleren Teil der Kiesbank vorgenommen.

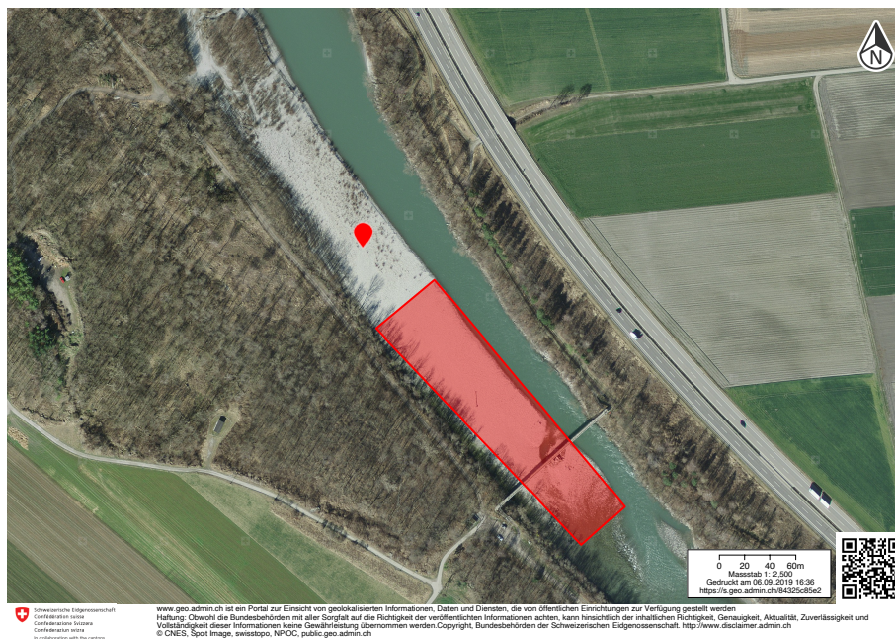


Abbildung 6: Ort der Feldarbeit. Der Teil der Kiesbank, der flächendeckend rot umrandet ist, war zum Zeitpunkt der Feldarbeit abgetragen. Quelle: Bundesamt für Landestopographie (map.geo.admin.ch) Zugriff: 06.09.2019

Eine historische Genflussanalyse von Werth & Scheidegger (2014) hat die Wichtigkeit der Wind- und Wasserausbreitung der Samen am Rhein gezeigt. Der Genfluss fand dabei vor allem flussabwärts statt, was sich an einer Akkumulation von genetischer Diversität in den Populationen flussabwärts zeigte (Werth & Scheidegger, 2014; Werth et al., 2014).

Im Rhein existieren jedoch auch mehrere Barrieren im Flusslauf. Die Population, welche für die Experimente in dieser Arbeit beprobt wurde, entspricht der Population RHE1 in Werth et al. (2014). RHE1 ist durch den Damm bei Tamins von den anderen Populationen am Rhein getrennt. Die genetische Diversität ist jedoch gross (Werth et al., 2014).

3.2.2. Samenentnahme

An 4 Tagen wurden Samen entnommen: 17.06, 09.07, 16.07 und 05.08.2019. Dabei wurden nur Samen gesammelt, jedoch keine Blüten oder Blätter. Gesammelt wurden ganze, geschlossene und bereits herangereifte Samenkapseln. Pro Pflanze wurden von mindestens 4 Blütenständen mehrere Samenkapseln entnommen. Ausserdem wurden die GPS-Koordinaten der beprobten Pflanzen notiert. Verwendet wurde das GPS-Gerät Oregon 700 der Marke Garmin. Wie jedoch in Tabelle 1 ersichtlich ist, weisen die Koordinaten eine grosse Varianz auf. Dies kann auf die Ungenauigkeit des GPS-Gerätes zurückgeführt werden, da die Pflanzen aus der gleichen Population stammen, welche eine kleine Ausdehnung aufweist.

Tabelle 1: Nummerierung, Datum und geographische Koordinaten der Beprobung der Individuen der *Myricaria germanica*

Nr.	Jahr	Monat	Tag	Breitengrad	Längengrad	Elevation
1	2019	06	17	46.941	9.546	547.040
2	2019	06	17	46.941	9.546	547.040
3	2019	06	17	46.940	9.546	547.040
4	2019	06	17	46.940	9.546	547.040
5	2019	06	17	46.940	9.546	547.040
6	2019	07	09	46.940	9.546	500.825
7	2019	07	09	46.940	9.546	504.744
8	2019	07	09	46.940	9.546	504.744
9	2019	07	09	46.941	9.546	504.744
10	2019	07	09	46.940	9.546	504.744
11	2019	07	16	46.940	9.546	495.367
12	2019	07	16	46.940	9.546	496.467
13	2019	07	16	46.940	9.546	522.845
14	2019	07	16	46.941	9.546	522.845
15	2019	07	16	46.947	9.545	522.845
16	2019	08	05	46.195	9.030	527.837
17	2019	08	05	46.940	9.546	527.921
18	2019	08	05	46.940	9.546	527.921
19	2019	08	05	46.940	9.546	527.921
20	2019	08	05	46.941	9.546	527.921

3.3. Experimentelle Anordnung

Die Extraktion der Samen aus den Samenkapseln wurde bei allen Experimenten gleich durchgeführt. Es wurden Samen von der zeitlich kürzesten zurückliegenden Feldarbeit und dabei von allen beprobten Pflanzen (jeweils 5 Pflanzen pro Feldarbeitseinsatz) verwendet. Pro Pflanze wurden 2 Samenkapseln von unterschiedlichen Blütenständen genommen. Somit wurden pro Experiment Samen von 10 verschiedenen Samenkapseln verwendet. Diese wurden geöffnet und die Samen von den verschiedenen Samenkapseln in einem Behälter miteinander vermischt. Dadurch wurde vermieden, dass bei einem Experiment nur Samen von einer Samenkapsel genommen wurde und dadurch die Ergebnisse durch verminderte

Samenqualität einer Samenkapsel verfälscht werden könnten. Bei der Behandlungsart *Samen ohne Pappus* wurde der Pappus mit einem Skalpell unter dem Binokular Leica MS 5 entfernt. Dafür wurden die Pappushaare mit einer Pinzette festgehalten und der Stiel direkt unterhalb der Verankerung der Pappushaare durchtrennt. Dadurch wurde der Teil des Stiels ohne Pappushaare nicht entfernt und somit auch nicht der Verankerungsansatz des Pappus an der Samenhülle. Dadurch konnte eine Verletzung der Samenhülle und damit eine Beeinträchtigung der Keimfähigkeit vermieden werden.

Für das Auskeimen der Samen wurden die Flächen von zwei Filterpapieren mit Durchmesser (DM) 85 mm (CAT No. 1001-085) der Marke Whatman mit 5 ml destilliertem Wasser getränkt und in eine Petrischale gelegt. Alle in den Experimenten verwendeten Petrischalen haben einen DM von 85 mm. Dann wurden sie folgendermassen in einem Inkubator inkubiert: 15 °C von 6 bis 22 Uhr mit Licht und 12°C von 22 bis 6 Uhr ohne Licht. Nach 72h wurde unter dem Binokular Leica MS 5 mit den Vergrösserungen x 1.6, x 2.5 und x 4 untersucht, ob die Samen gekeimt hatten. Als erfolgte Keimung zählten Samen mit angedeuteter Keimwurzelbildung und bereits deutlich ausgebildeten Keimwurzeln (siehe Abbildungen 7 und 8).



Abbildung 7: Samen mit angedeuteter Keimwurzelbildung
(Aufnahme: 26.06.2019), Vergrösserung x 5



Abbildung 8: Samen mit ausgebildeter Keimwurzel
(Aufnahme: 26.06.2019), Vergrösserung x 5

Für jede Behandlungsart gab es eine Kontrollgruppe. Diese Samen wurden gleichbehandelt, jedoch nicht dem Experiment unterzogen. Damit wurde die Keimfähigkeit der verwendeten Samen, als solche bestimmt.

3.3.1. Verlängerte Wasseraufenthalte

Für dieses Experiment wurden Samen der Proben Nr. 1 – 15 verwendet (siehe Tabelle 1). Die Experimente wurden am 26.06, 10.07 und 19.07.2019 durchgeführt.

Mit diesem Experiment wurde die erste Hypothese untersucht, die besagt, dass durch eine erhöhte Verweildauer der Samen im Wasser die Keimfähigkeit vermindert wird.

Dafür wurden die Samen unterschiedlich lange im Wasser gelagert. Die Lagerungszeiten im Wasser betragen 0.5 h, 1 h und 3 h. Es wurden jeweils 20 Samen in Teefiltern Grösse M, naturbraun der Marke Cilia mit beidseitig klebendem Montageband der Marke tesa an der Becherglaswand befestigt. Dann wurde das Becherglas Grösse 1000 ml der Marke Schott Duran und die darin enthaltenen Teefilter mit 1l Wasser gefüllt. Nach der Lagerungszeit 0.5 h, 1 h oder 3 h wurden die Teefilter aus dem Becherglas entnommen und aufgeschnitten. Die

Samen wurden mit einem Pinsel Aquarell 25, Grösse 3 der Marke Pelikan auf dem Teefilter verteilt und mit dem Teefilter als Unterlage auf die Filterpapiere in die Petrischalen gelegt. Pro Wasserbehandlungsdauer wurden 140 Samen behandelt und getestet, insgesamt also 420 Samen.

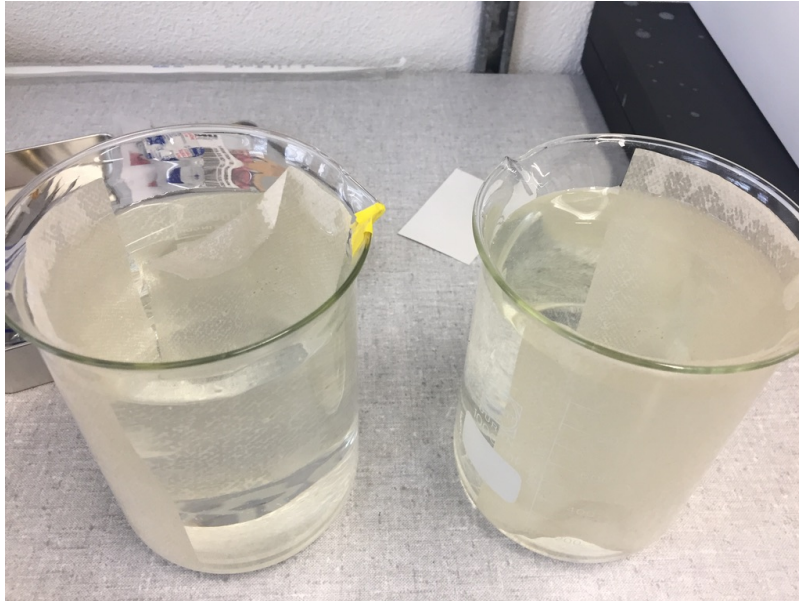


Abbildung 9: Experimentanordnung des Experiment 1 (Aufnahme: 10.07.2019)

3.3.2. Verhalten der Samen auf der Wasseroberfläche

Es wurden Samen der Probe Nr. 6 – 10 verwendet (siehe Tabelle 1) und das Experiment wurde am 26.07.2019 durchgeführt. Untersucht wurden 20 Samen mit Pappus und 20 Samen ohne Pappus, also insgesamt 40 Samen und es wurden keine Wiederholungen des Experimentes gemacht.

Dieses Experiment diente der genauen Untersuchung des Verhaltens der Samen auf der Wasseroberfläche. Die Samen wurden aus 5 cm Höhe auf die Wasseroberfläche eines mit 50 ml Wasser gefüllten Petrischalenbodens fallengelassen, um ein versehentliches Eintauchen der Samen bei der Platzierung auf dem Wasser zu vermeiden. Dann wurde das Verhalten der Samen mit dem Binokular Leica MS 5 beobachtet. Zu den Zeitpunkten 0h, 10min, 30min und 1h wurde das Verhalten der Samen schriftlich festgehalten. Nach 1h wurde das Wasser mit dem Pinsel 25/3 der Marke Pelikan mit 5 kreisförmigen Umdrehungen durchmischt, um zu testen ob die Samen abtauchen und folglich wiederauftauchen. Dies wurde ebenfalls schriftlich festgehalten. Die Beobachtungen dienten nicht der quantitativen Datenerhebung. Es sollte der Einfluss der Samenhülle, des Pappus und der Oberflächenspannung des Wassers auf die Schwimmfähigkeit der Samen qualitativ beobachtet werden.

3.3.3. Pappus und Vorbefeuchtung der Samen

Für dieses Experiment wurden Samen der Proben Nr. 6 – 15 verwendet (siehe Tabelle 1). Die Experimente wurden am 11.07, 12.07 und 18.07.2019 durchgeführt.

Ziel dieses Experiments war die Untersuchung der zweiten Hypothese. Sie besagt, dass das Entfernen des Pappus und Vorbefeuchten der Samen die Keim- und Schwimffähigkeit vermindert.

Zur Untersuchung der Vorbefeuchtung wurden folgende Kategorien gebildet: *trocken*, *feucht* und *nass*. Diese Behandlungen wurden an *Samen mit Pappus* und *Samen ohne Pappus* durchgeführt. Somit ergaben sich sechs Behandlungsarten: *trocken mit Pappus*, *feucht mit Pappus*, *nass mit Pappus*, *trocken ohne Pappus*, *feucht ohne Pappus* und *nass ohne Pappus*. Für die Behandlung *trocken*, wurden die Samen nicht vorbehandelt.

Für die Behandlung *feucht* wurden zwei Filterpapiere mit DM 70 mm (Cat. No. 1003 070) der Marke Whatman mit je 0.6 ml destilliertem Wasser benetzt. Diese Wassermenge befeuchtete die Filterpapiere ohne Wasserlache. Ein Filterpapier wurde mit Klebstreifen an den inneren Petrischalendeckel geklebt und das andere Filterpapier auf den Petrischalenboden gelegt. Die Samen wurden für eine Stunde in den Petrischalen mit geschlossenem Deckel gelagert. Mit dieser Anordnung sollten ein feuchter Untergrund und hohe Luftfeuchtigkeit simuliert werden.

Für die Behandlung *nass* wurde ein Filterpapier mit DM 70 mm (Cat. No. 1003 070) der Marke Whatman mit 2 ml destilliertem Wasser benetzt und auf den Petrischalenboden gelegt. Diese Wassermenge machte das Filterpapier nass, sodass sich Wasserlachen bildeten. Die Samen wurden für eine Stunde in den Petrischalen mit geschlossenem Deckel gelagert. Damit wurde das Lagern der Samen auf sehr nassem Untergrund vor dem Wassertransport simuliert.

Die Samen wurden direkt nach der Vorbefeuchtung mit maximaler Fallgeschwindigkeit auf die Wasseroberfläche fallen gelassen. Um sicherzustellen, dass es keine Luftbewegung gab, wurde Alufolie um das Becherglas gewickelt, sodass 15 cm Alufolie über die Becherglaswand ragten.

Die maximale Fallgeschwindigkeit der Samen mit Pappus wurde mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{\text{max. Fallgeschwindigkeit}^2}{2 \times \text{Fallbeschleunigung}} = \text{Höhe}$$

(Papula, 2018)

Die Werte max. Fallgeschwindigkeit (Samen mit Pappus) = 0.15 m/s, Fallbeschleunigung = 9.81 m/s² (Lanz & Stecher, 2009) ergeben die Höhe = 0.115 cm (auf 3 Nachkommastellen gerundet). In diesem Experiment wurde die Höhe 10 cm gewählt, was einerseits praktikabel war und andererseits das Erreichen der max. Fallgeschwindigkeit sicherstellte.

Nach dem Auftreffen auf der Wasseroberfläche wurde die Anzahl schwimmender Samen nach 10 min, 30 min und 1 h von Auge gezählt. Danach wurden alle Samen aus dem Wasser geschöpft und zum Keimen auf die Filterpapiere in die Petrischalen gelegt.

Pro Behandlungsart wurden 125 Samen behandelt und getestet, insgesamt also 750 Samen.

3.3.4. Abstürze im Wasser

Für dieses Experiment wurden Samen der Proben Nr. 16 – 20 verwendet (siehe Tabelle 1). Die Experimente wurden am 06.08 und 07.08.2019 durchgeführt.

In diesem Experiment sollte die dritte Hypothese getestet werden. Diese erwartet eine Verminderung der Keim- und Schwimmfähigkeit der Samen durch einen Absturz im Wasser.

Für die Bestimmung der Absturzhöhe wurden natürliche und künstliche Hindernisse in den Flüssen Rhein und Moesa miteinander verglichen. Es wurden diese Flüsse ausgewählt, da an beiden Flüssen Populationen von *Myricaria germanica* vorkommen. Die Daten wurden aus der Datenbank Oekomorphologie Stufe F bezogen und in ArcGIS bearbeitet. In der Datenbank Oekomorphologie Stufe F sind nur Bauwerke ab 50 cm verzeichnet (Göggel & Wagner, 2006). Der grösste Anteil (67.91 %) der Bauwerke und Abstürze hat eine Höhe von 50 cm. Den zweitgrössten Anteil (14.93 %) haben Abstürze mit der Höhe 100 cm. Höhere Hindernisse machen nur einen kleinen Anteil aus und sind somit vernachlässigbar. Die zu testenden Absturzhöhen wurden auf 70 cm, da diese Höhe für aquatische Organismen nicht überwindbar ist (Göggel & Wagner, 2006), und 100 cm festgelegt. Der Alpenrhein hat eine Neigung von 3 ‰, und die Moesa eine Neigung von 1.4 ‰ (Bertossa, 1954; Internationale Regierungskommission Alpenrhein, 2001). Da es jedoch mit der gewählten Experimentanordnung schwierig war, solche kleinen Neigungsdifferenzen einzubauen, wurde ein Gefälle von 2 ‰ genommen.

Der Fluss wurde durch eine Regenrinne simuliert. Diese Approximation eines natürlichen Flusses ist sehr stark vereinfacht. Eine realitätsgetreuere Abbildung würden den Aufwand im Rahmen einer Bachelorarbeit jedoch übertreffen.

Das Experiment wurde folgendermassen aufgebaut: Auf zwei Kisten mit Höhe 30 cm wurde je ein Stabständer mit Höhe 100 cm gestellt. Eine Holzleiste wurde an einem Ende und 20 cm vor ihrem anderen Ende mit Schraubstockklammern an den beiden Stabständern befestigt. Als Holzleiste wurde die Quadratileiste Kiefer mit den Massstäben 12 x 12 mm x 1m von Oecoplan Coop verwendet. Mithilfe von Kabelbindern wurde die Regenrinne an der Holzleiste befestigt. Dafür wurden zweimal jeweils zwei Kabelbinder, Breite 7.5 mm und Länge 200 mm, ineinander gehängt, sodass sich eine geschlossene Schleife bildete. Die Kabelbinder wurden mithilfe der Schleife an die Holzleiste gehängt und in der nun herunterhängenden Schleife, wurde die Regenrinne aufgehängt. Es wurde die Regenrinne Marley Duplex-Dachrinne RG 80 Grau 2 m von OBI verwendet, die auf 110 cm gekürzt wurde. Unter das überhängende Ende der Regenrinne wurde ein mit 2.5 l Wasser gefüllter Eimer mit Höhe 30 cm und DM 30 cm gestellt. Die Fallhöhe und Neigung wurde durch Verschieben der Schraubstockklammer an den Stabständern eingestellt und die Fallhöhe wurde als Differenz zwischen der Wasseroberfläche und dem Boden der Regenrinne gemessen. Abbildung 10 zeigt eine Aufnahme der Experimentanordnung.

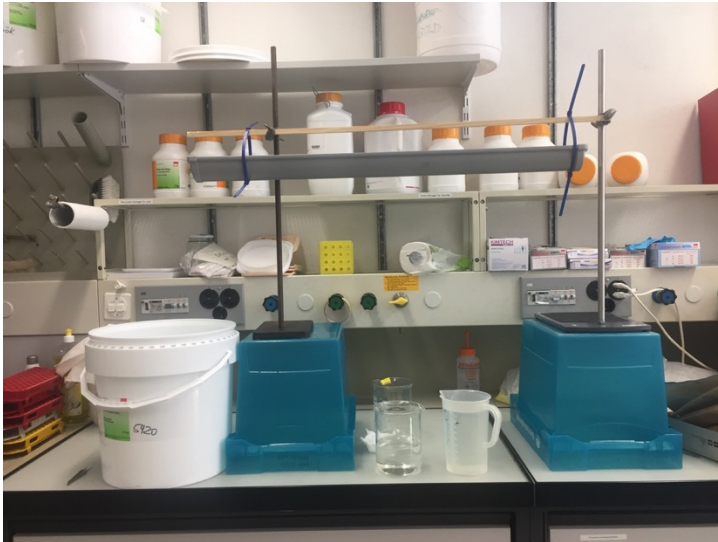


Abbildung 10: Experimentanordnung des Experiment 3 (Aufnahme: 06.08.2019)

Zu Beginn des Experimentes wurde die Regenrinne auf beiden Seiten mit Endstücken verschlossen. Dafür wurden die Endstücke Marley Duplex Dachrinnen-Endstück RG 80 Grau von OBI verwendet. Die Regenrinne wurde mit 1.5 l Wasser gefüllt und die Samen mit einer Pinzette auf die Wasseroberfläche gelegt. Dann wurde das Endstück der Regenrinne auf der 2 ‰ tiefer liegenden Seite entfernt, sodass durch die Neigung von 2 ‰ das Wasser in ein Becken floss. Im Becken wurde die Anzahl schwimmender Samen und allfällige Veränderungen während 20 Minuten notiert. Danach wurden sie mit der Pinzette aus dem Wasser entnommen und zum Keimen auf das Filterpapier in die Petrischalen gelegt. Dieser Durchlauf wurde mit den Fallhöhen 70 cm und 100 cm mit *Samen mit Pappus* und *Samen ohne Pappus* durchgeführt, was insgesamt 4 Durchläufe ergab.

Pro Behandlungsart und Höhe wurden 100 Samen behandelt und getestet, insgesamt also 400 Samen.

3.4. Statistische Auswertung

Die Daten wurden in einer Excel Tabelle in Microsoft Excel Version 16.33 gespeichert und mit der Software R Version 3.5.2 und R Studio Version 1.1.463 ausgewertet (R Core Team, 2018). Zusätzlich verwendet wurde das R Package FSA (Ogle, Wheeler, & Dinno, 2019) für den Dunn-Test.

Durch die Wiederholungen der Experimente an unterschiedlichen Tagen wurde im gleichen Experiment Samenmaterial aus unterschiedlichen Feldarbeitseinsätzen verwendet. Die Samen können jedoch in der Keimfähigkeit variieren und dadurch die Keimraten aus den Experimenten verfälschen. Um solche Effekte zu korrigieren, wurden die Keimraten der verschiedenen Behandlungsgruppen mit den Keimraten ihrer jeweiligen Kontrollgruppe angepasst.

Auswertungsmethoden wie der t-Test setzen eine Normalverteilung der Daten voraus. Die Auswertungsmethoden Pearson Chi-Quadrat-Test und Kruskal-Wallis-Test setzen

kategorische Variablen, jedoch keine Normalverteilung voraus. Es wurde der Dunn-Test als posthoc Methode verwendet. Dadurch kann evaluiert werden zwischen welchen Variablen ein signifikanter Zusammenhang besteht (Universität Zürich, 2018).

Die Daten erfüllen die Normalverteilungsannahme nicht (siehe 4. Resultate). Daher wurden die Auswertungsmethoden Pearson Chi-Quadrat-Test und Kruskal-Wallis-Test angewendet. Die Daten erfüllen die Voraussetzung der kategorischen Variablen, da die Variablen in die Kategorien *Gekeimt* bzw. *Nicht gekeimt* und *Schwimmend* bzw. *Nicht schwimmend* eingeteilt wurden.

Nullhypothese: Die Behandlungsmethode hat keinen signifikanten Einfluss auf die Keim- und Schwimmfähigkeit.

Alternativhypothese: Die Behandlungsmethode hat einen signifikanten Einfluss auf die Keim- und Schwimmfähigkeit.

Das Signifikanzniveau wurde $\alpha=0.05$ gewählt.

4. Resultate

Mit dem Shapiro Test wurden die Daten zuerst auf Normalverteilung geprüft. Der Test hat bei allen Experimenten den p-Wert $< 2.2 \times 10^{-16}$ ergeben. In den Abbildungen 11 – 13 sind die QQ-Plots für die 3 Experimente dargestellt. Die Normalverteilung setzt voraus, dass die Daten auf einer Gerade mit Achsenabschnitt μ und Steigung σ verteilt sind. Die Daten erfüllen diese Voraussetzung jedoch nicht einmal annähernd. Damit lässt sich auf eine Nichtnormalverteilung schliessen.

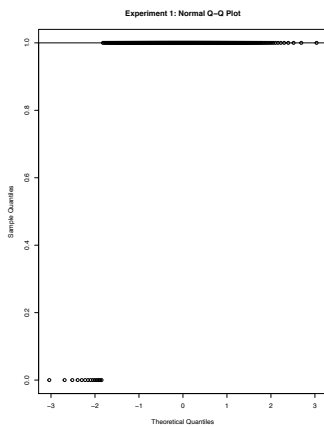


Abbildung 11: QQ-Plot der Daten aus dem Experiment 1

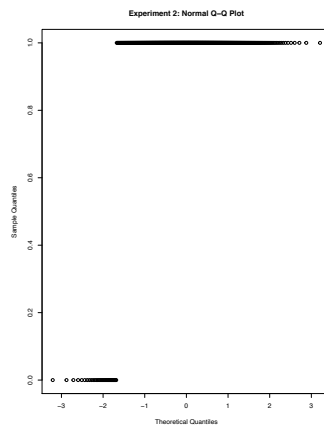


Abbildung 12: QQ-Plot der Daten aus dem Experiment 2

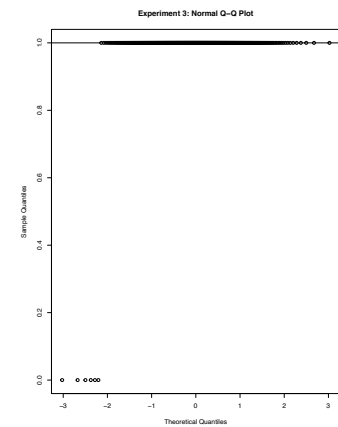


Abbildung 13: QQ-Plot der Daten aus dem Experiment 3

4.1. Verlängerte Wasseraufenthalte

Wie in Abbildung 14 ersichtlich ist, sind die meisten Samen erfolgreich ausgekeimt. Die Keimrate für 0.5 h beträgt 94.29 %, für 1 h beträgt sie 95.71 % und für 3 h beträgt sie 100 %.

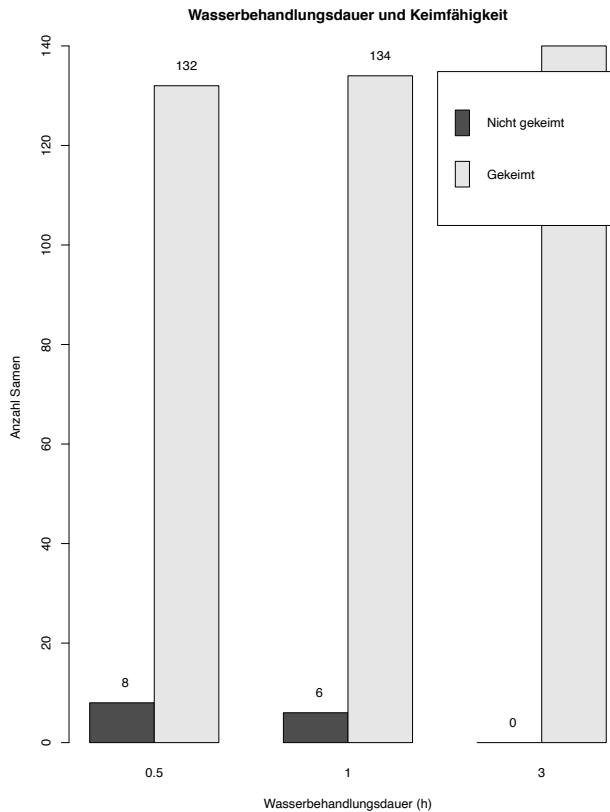


Abbildung 14: Anzahl gekeimter Samen in Abhängigkeit von der Wasserbehandlungsdauer

Mit dem Chi-Quadrat-Test beträgt der p-Wert 0.021. Der Kruskal-Wallis-Test ergibt den p-Wert 0.022. Es besteht also ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Keimfähigkeit und der Wasserbehandlungsdauer.

Der Dunn-Test ergibt zwischen 0.5 h und 1 h den p-Wert 0.506, zwischen 0.5 h und 3 h den p-Wert 0.023, und zwischen 1 h und 3 h den p-Wert 0.092. Demnach besteht nur zwischen der Wasserbehandlungsdauer 0.5 h und 3 h ein signifikanter Zusammenhang.

4.2. Verhalten der Samen auf der Wasseroberfläche

Die behandelten Samen beider Gruppen (*trocken mit* und *ohne Pappus*) wiesen während einer Stunde Aufenthalt im Wasser keine sichtbaren Veränderungen auf wie z.B. Aufquellen oder Absinken. Ein Teil der *Samen ohne Pappus* klebte an der Samenhülle als eine Gruppe zusammen, während sich bei einem Teil der *Samen mit Pappus* die Haarschöpfe verhedderten. Die *Samen ohne Pappus* sanken bei der manuellen Durchmischung schneller ab als die *Samen mit Pappus*. Die *Samen mit Pappus* nahmen beim Absinken eine Luftblase im Pappus mit und stiegen dadurch rasch wieder an die Oberfläche auf. Sowohl die *Samen mit Pappus* als auch die *Samen ohne Pappus* stiegen alle wieder auf.

4.3. Pappus und Vorbefeuchtung der Samen

Auch in diesem Experiment haben die Samen bei allen Behandlungsarten sehr hohe Keimraten. Die Keimraten betragen 100 % für *feuchte* und *nasse Samen ohne Pappus* (f&oP und n&oP), 98.4 % für *feuchte Samen mit Pappus* (f&mP), 96 % für *nasse Samen mit Pappus*,

91.2 % für *trockene Samen ohne Pappus* (t&oP) und 86.4 % für *trockene Samen mit Pappus* (t&mP).

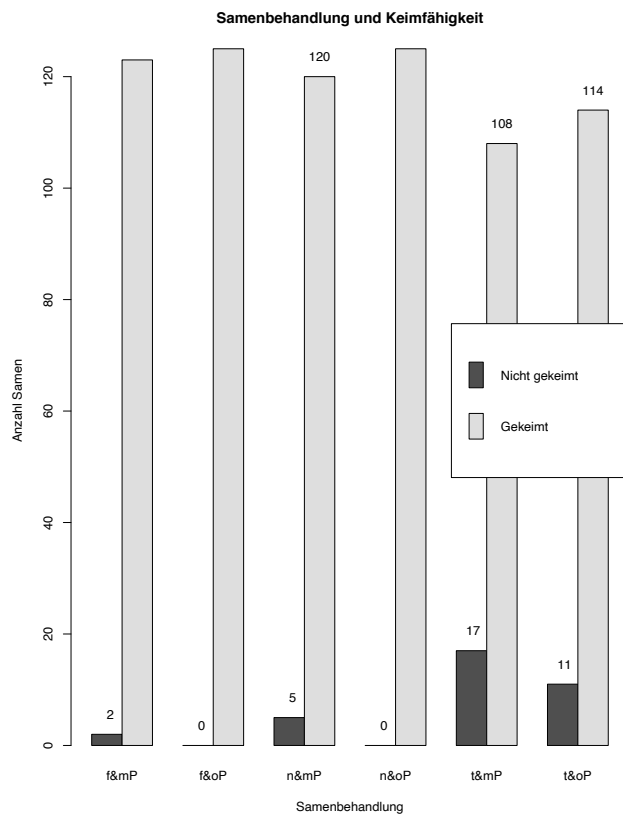


Abbildung 15: Anzahl gekeimter Samen in Abhängigkeit von der Samenbehandlung (t&mP = trocken und mit Pappus, t&oP = trocken und ohne Pappus, n&mP = nass und mit Pappus, n&oP = nass und ohne Pappus, t&mP = trocken und mit Pappus, t&oP = trocken und ohne Pappus)

Der Chi-Quadrat-Test ergibt den p-Wert 5.297×10^{-8} und der Kruskal-Wallis-Test den p-Wert 5.438×10^{-8} . Es kann also auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Variablen *Behandlung* und *Gekeimt* geschlossen werden.

Mithilfe des Dunn-Tests (siehe Tabelle 2 und 3) wurde evaluiert zwischen welchen Variablen ein signifikanter Zusammenhang besteht.

Zwischen folgenden Behandlungen besteht ein signifikanter Zusammenhang:

Tabelle 2: p-Werte der signifikanten Zusammenhänge zwischen den Behandlungen

Behandlung 1	Behandlung 2	p-Wert
<i>Trocken, mit Pappus</i>	<i>Feucht, mit Pappus</i>	9.055×10^{-5}
<i>Trocken, mit Pappus</i>	<i>Feucht, ohne Pappus</i>	5.257×10^{-6}
<i>Trocken, mit Pappus</i>	<i>Nass, mit Pappus</i>	3.881×10^{-3}
<i>Trocken, mit Pappus</i>	<i>Nass, ohne Pappus</i>	4.907×10^{-6}
<i>Trocken, ohne Pappus</i>	<i>Feucht, ohne Pappus</i>	0.012
<i>Trocken, ohne Pappus</i>	<i>Nass, ohne Pappus</i>	9.802×10^{-3}

Zwischen folgenden Behandlungen besteht kein signifikanter Zusammenhang:

Tabelle 3: p-Werte der nicht signifikanten Zusammenhänge zwischen den Behandlungen

Behandlung 1	Behandlung 2	p-Wert
<i>Feucht, ohne Pappus</i>	<i>Feucht, mit Pappus</i>	1
<i>Nass, mit Pappus</i>	<i>Feucht, mit Pappus</i>	1
<i>Nass, mit Pappus</i>	<i>Feucht, ohne Pappus</i>	0.804
<i>Nass, ohne Pappus</i>	<i>Feucht, mit Pappus</i>	1
<i>Nass, ohne Pappus</i>	<i>Feucht, ohne Pappus</i>	1
<i>Nass, ohne Pappus</i>	<i>Nass, mit Pappus</i>	0.670
<i>Trocken, ohne Pappus</i>	<i>Feucht, mit Pappus</i>	0.063
<i>Trocken, ohne Pappus</i>	<i>Nass, mit Pappus</i>	0.578
<i>Trocken, ohne Pappus</i>	<i>Trocken, mit Pappus</i>	0.505

Die Behandlung *trockene Samen mit Pappus* hat eine signifikant tiefere Keimrate als alle anderen Behandlungsarten. Die Behandlung *trockene Samen ohne Pappus* hat eine signifikant tiefere Keimrate als die Behandlungen *feuchte Samen ohne Pappus* und *nasse Samen ohne Pappus*. Die Behandlungsarten *trocken, feucht* und *nass* haben bei Vorhandensein oder Fehlen des Pappus ähnliche Keimraten. Die *Samen ohne Pappus* weisen jeweils leicht höhere Keimraten auf als die *Samen mit Pappus*. Dieser Effekt ist jedoch statistisch nicht signifikant.

In Abbildung 16 wird die Anzahl schwimmender Samen nach 60 Minuten Wasseraufenthalt in Abhängigkeit von der Behandlungsart gezeigt. Bei der Behandlung *nasse Samen ohne Pappus* beträgt die Schwimmrate 85.6 % und bei den übrigen Kategorien 100 %.

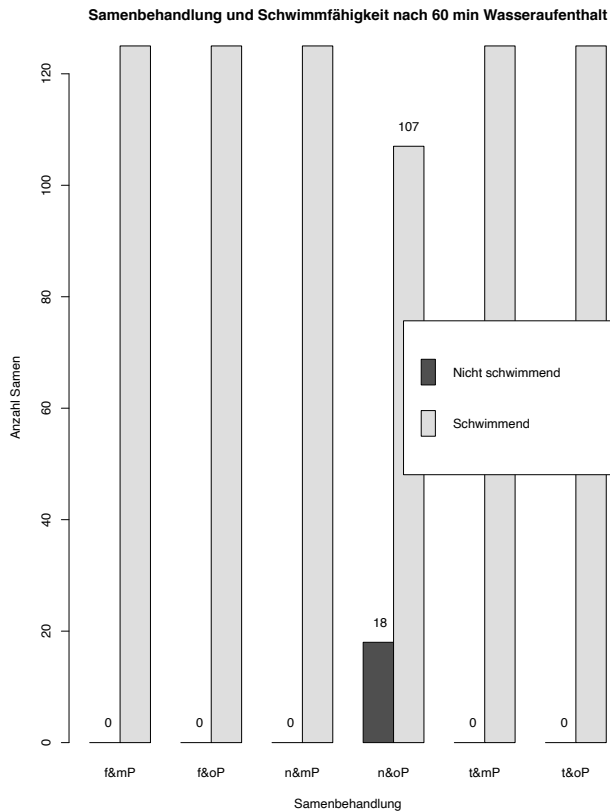


Abbildung 16: Anzahl schwimmender Samen in Abhängigkeit von der Behandlungsart nach 60 Minuten Wasseraufenthalt

Sowohl der Chi-Quadrat-Test als auch der Kruskal-Wallis-Test ergeben den p-Wert $< 2.2 \times 10^{-16}$. Es besteht also ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Schwimmfähigkeit und der Behandlung. Der Dunn-Test ergibt, dass der Zusammenhang zwischen der Kategorie *nasse Samen ohne Pappus* und jeder anderen Kategorie signifikant ist. Der Zusammenhang zwischen allen anderen Kategorien ist nicht signifikant (p-Wert 1). Dies ergibt Sinn, da nur die Samen der Kategorie *nasse Samen ohne Pappus* nicht geschwommen sind.

In Abbildung 17 sind nur noch die *nassen Samen ohne Pappus* enthalten. Die Abbildung zeigt den Anteil schwimmender Samen nach 10, 30 und 60 Minuten. Die anderen Kategorien sind nicht enthalten, da zu allen Zeitpunkten 100 % der Samen schwammen. Von den *nassen Samen ohne Pappus* schwammen nach 10 Minuten 102 Samen (81.6 %), nach 30 Minuten 104 Samen (83.2 %) und nach 60 Minuten 107 Samen (85.6 %). Der Anteil schwimmender Samen änderte sich mit der Zeit also nur geringfügig und die meisten Samen stiegen nicht mehr auf, wenn sie einmal abgesunken waren.

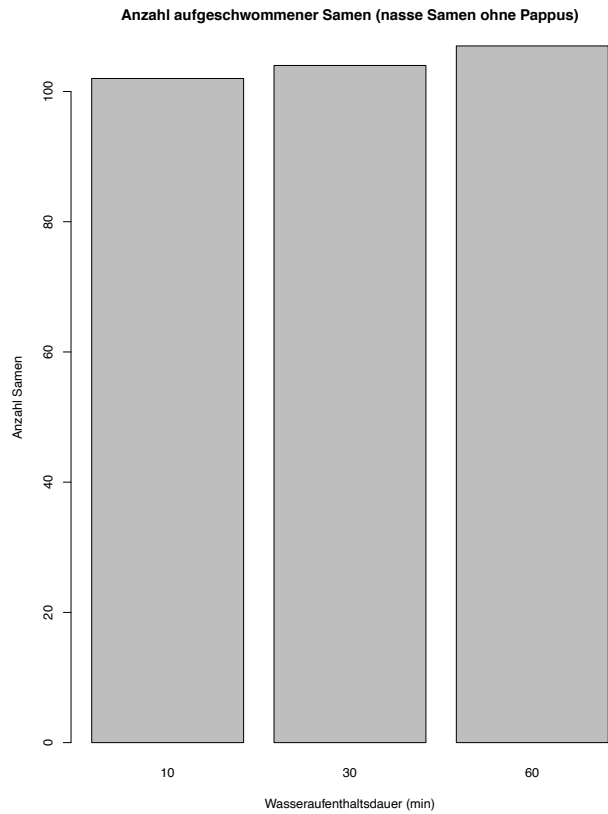


Abbildung 17: Anzahl schwimmender Samen der Kategorie nasse Samen ohne Pappus in Abhängigkeit von der Wasseraufenthaltsdauer

4.4. Abstürze im Wasser

Wie in Abbildung 18 ersichtlich ist, ist der grösste Teil der Samen erfolgreich ausgekeimt. Bei den Samen mit und ohne Pappus aus 100 cm Absturzhöhe beträgt die Keimrate 98 % und bei den Samen mit und ohne Pappus aus 70 cm Absturzhöhe beträgt die Keimrate 99 %.

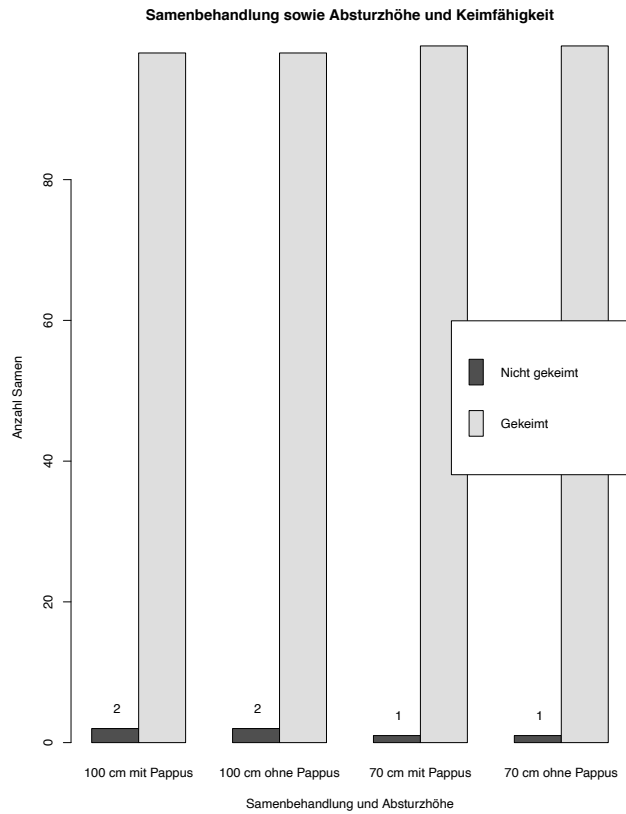


Abbildung 18: Anzahl gekeimter Samen in Abhängigkeit von der Behandlung und Absturzhöhe

Der Chi-Quadrat-Test und der Kruskal-Wallis-Test ergeben beide den p-Wert 0.879. Es besteht also kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Behandlung, sowie Absturzhöhe und der Keimfähigkeit.

100 % der *Samen mit Pappus* sind unabhängig von der Absturzhöhe geschwommen (siehe Abbildung 19). 85 % der *Samen ohne Pappus* sind bei der Absturzhöhe 70 cm geschwommen und 76 % der Samen sind bei der Absturzhöhe 100 cm geschwommen.

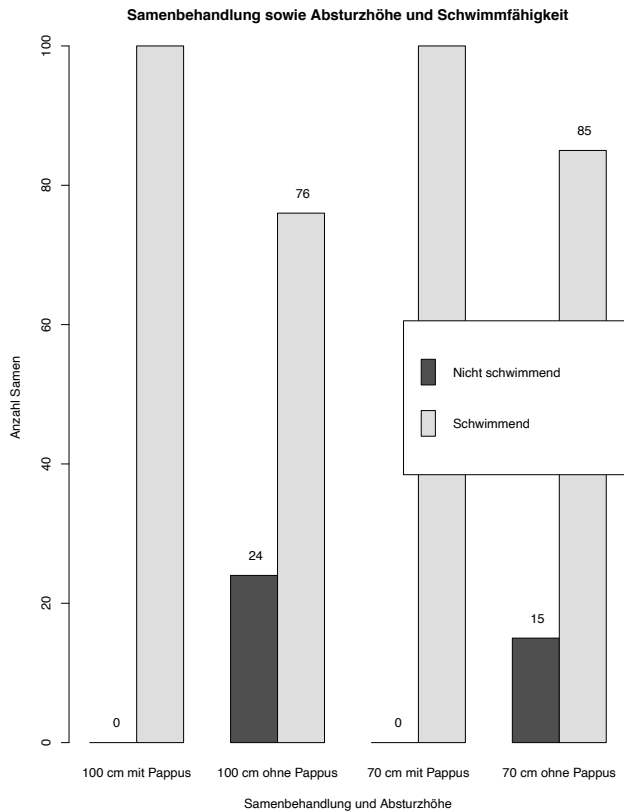


Abbildung 19: Anzahl schwimmender Samen in Abhängigkeit von der Behandlung und Absturzhöhe

Der Chi-Quadrat-Test ergibt den p-Wert 2.331×10^{-10} und der Kruskal-Wallis-Test den p-Wert 2.471×10^{-10} . Demnach besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Schwimmfähigkeit und der Behandlung.

Der Dunn-Test ergibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Kategorien *Samen mit* und *ohne Pappus* aus 100 cm Absturzhöhe (6.628×10^{-8}), *Samen mit* und *ohne Pappus* aus 70 cm Absturzhöhe (1.066×10^{-3}), *Samen mit Pappus* aus 70 cm Absturzhöhe und *Samen ohne Pappus* aus 100 cm Absturzhöhe (5.523×10^{-8}) und *Samen ohne Pappus* aus 70 cm und *Samen mit Pappus* aus 100 cm Absturzhöhe (1.422×10^{-3}). Zwischen den Kategorien *Samen mit Pappus* aus 100 cm und 70 cm Absturzhöhe (p-Wert 1) und *Samen ohne Pappus* aus 100 cm und 70 cm Absturzhöhe (p-Wert 0.064) besteht kein signifikanter Zusammenhang.

4.5. Datenerhebung

Zwischen den Tagen der Experimentdurchführung wurden statistische Tests zur Feststellung von Unterschieden in der Keimfähigkeit durchgeführt. Allfällige Unterschiede können somit auf Unterschiede in der Experimentdurchführung hinweisen. Der Kruskal-Wallis-Test ergibt für das Experiment verlängerte Wasseraufenthalte den p-Wert 1.434×10^{-8} , für das Experiment Pappus und Vorbefeuchtung der Samen den p-Wert 1.142×10^{-12} und für das Experiment Abstürze im Wasser den p-Wert 1. Folglich bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Datenerhebungstagen der Experimente verlängerte Wasseraufenthalte und Pappus und Vorbefeuchtung der Samen, aber nicht zwischen den Datenerhebungstagen des

Experiments Abstürze im Wasser. Die Experimente verlängerte Wasseraufenthalte und Pappus und Vorbefeuchtung der Samen wurden an jeweils 3 Tagen durchgeführt, Experiment Abstürze im Wasser nur an 2 Tagen.

Für das Experiment verlängerte Wasseraufenthalte ist der Zusammenhang signifikant zwischen dem 23.06 und 10.07 (p-Wert 9.893×10^{-7}) sowie 23.06 und 19.07 (p-Wert 1.087×10^{-7}) Tag, aber nicht zwischen dem 10.07 und 19.07 (p-Wert 1) Tag. Für das Experiment Pappus und Vorbefeuchtung der Samen besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem 11.07 und 18.07 (p-Wert 6.495×10^{-8}) und dem 12.7 und 18.7 (p-Wert 3.868×10^{-11}) Tag, aber nicht zwischen dem 11.7 und 12.7 (p-Wert 1) Tag.

5. Diskussion

5.1. Verlängerte Wasseraufenthalte

Die erste Hypothese besagt, dass eine erhöhte Verweildauer der Samen im Wasser die Keimfähigkeit vermindert. Eine längere Wasserbehandlungsdauer beeinträchtigte die Keimfähigkeit jedoch nicht, womit die erste Hypothese verworfen werden kann. In Abbildung 14 ist sogar ersichtlich, dass der Zusammenhang positiv ist, d.h. die Keimraten durch eine längere Wasserbehandlungsdauer begünstigt wurden. Demnach zeigen die Samen der *Myricaria germanica* eine hohe Toleranz gegenüber erhöhtem Wassereinfluss. Dieser positive Zusammenhang zwischen Keimfähigkeit und Wassereinfluss lässt sich auch in der Literatur finden. In Experimenten von Egger et al. (2017) führten 24 h Überstauung zu höheren Keimraten als wenn die Samen ohne erhöhten Wassereinfluss auskeimten. Lener (2011) liess die Samen sogar direkt im Wasser auskeimen, wovon über 92 % der Samen keimten und sich fast alle Samen voll entwickeln konnten (Lener, 2011).

Ein Grund für den positiven Einfluss von verlängertem Kontakt der Samen mit Wasser könnte die Auslösung des Keimungsprozesses sein. Dafür muss der Samen befeuchtet werden (Egger et al., 2017) und erhöhter Wasserkontakt könnte somit dazu führen, dass dieser effizienter ausgelöst wird. Eine Anpassung der Samen an verlängerten Wasserkontakt könnte sich also neben erhöhter Wasserstresstoleranz (Bregy & Benkler, 2010), auch in einer verbesserten Keimfähigkeit zeigen.

Kanalisierte Flussabschnitte wirken sich auf die Samenverbreitung vor allem durch das Fehlen von Habitaten aus. Die Keimfähigkeit wird durch die längeren Aufenthaltszeiten im Wasser aufgrund des Durchquerens von kanalisierten Flussabschnitten nicht beeinträchtigt, wie das Experiment zu den verlängerten Wasseraufhalten zeigt. Jedoch wird das Erreichen von geeigneten Habitaten erschwert. H.-C. Bill, Poschlod, Reich, & Plachter (1999) berichten zwar von einer maximalen Schwimmdauer der Samen von 60 Stunden in turbulentem Wasser. Da nicht alle Samen die maximale Schwimmdauer erreichen, ist die hydrochore Samenausbreitung reduziert. Benötigen die Samen länger, um die kanalisierten Flussabschnitte zwischen zwei Populationen zu durchqueren, ist die Vernetzung unterbrochen. Das kann zu genetischer Verarmung der Populationen führen und Habitate, die durch Aussterben einer Metapopulation frei geworden sind, werden nicht wiederbesiedelt.

5.2. Pappus und Vorbefeuchtung

Die zweite Hypothese besagt, dass das Entfernen des Pappus und Vorbefeuchten der Samen die Keim- und Schwimmfähigkeit vermindert. Die Keimfähigkeit wurde durch die Vorbefeuchtung jedoch positiv anstatt negativ beeinflusst (siehe Abbildung 15), während das Vorhandensein des Pappus einen kleinen, aber nicht signifikanten Einfluss hatte. Auf die Schwimmfähigkeit hat das Vorhandensein des Pappus hingegen einen grossen Einfluss, da nur stark befeuchtete Samen, die zuvor ihren Pappus verloren haben, in ihrer Schwimmfähigkeit beeinträchtigt wurden. Die Schwimmfähigkeit von intakten Samen, d.h. vorhandener Pappus,

wurde unabhängig von der Stärke der Befeuchtung nicht beeinträchtigt. Die 2. Hypothese wird somit teilweise bestätigt: Während der Verlust des Pappus und die Vorbefeuchtung der Samen die Keimfähigkeit nicht beeinflussen, beeinträchtigt er die Schwimmfähigkeit.

Der Pappus ist demnach eine essentielle Eigenschaft der Samen für die erfolgreiche Samenverbreitung via Luft und Wasser. Wie im Vorexperiment Verhalten der Samen auf der Wasseroberfläche beobachteten Lanz & Stecher (2009) das Verfangen von Luftblasen im Pappus beim Untertauchen der Samen im Wasser. Der Pappus verhindert also durch die Mitnahmen von Luftblasen das Absinken der Samen. Diese Beobachtung erklärt auch wieso nur nasse Samen ohne Pappus absanken. Bei dieser Behandlung fehlt der Pappus und durch die Vorbefeuchtung der Samenhülle hält die Oberflächenspannung des Wassers die Samen nicht mehr auf dem Wasser. Die Förderung der Schwimmfähigkeit durch den Pappus wird auch in der Literatur erwähnt (H.-C. Bill et al., 1999), jedoch nicht das Verfangen von Luftblasen beim Absinken. Jedoch ist das Verlieren des Pappus eher unwahrscheinlich, da der Pappus sehr gut an der Samenhülle befestigt ist. In Experimenten von Lanz & Stecher (2009) riss der Pappus selbst bei starken und langanhaltenden Turbulenzen nicht ab.

5.3. Abstürze im Wasser

Die dritte Hypothese besagt, dass ein Absturz der Samen im Wasser die Keim- und Schwimmfähigkeit der Samen vermindert. Die Keimfähigkeit von allen Samen und die Schwimmfähigkeit von intakten Samen wurden jedoch durch den Absturz nicht beeinträchtigt. Die Schwimmfähigkeit von Samen, die ihren Pappus nicht mehr besitzen, wurde durch den Absturz jedoch beeinträchtigt. Die 3. Hypothese wird ebenfalls teilweise bestätigt: Während ein Absturz die Keimfähigkeit nicht beeinflusst, vermindert er die Schwimmfähigkeit.

Die gute Anpassung der Samen an die Samenverbreitung via Wasser zeigt sich somit auch in ihrer sehr hohen Schwimmfähigkeit. Die Schwimmfähigkeit der Samen mit Pappus wurde trotz Vorbefeuchtung und Abstürze von bis zu 1 m nicht vermindert. Samen mit Pappus zeigen diese sehr hohe Schwimmfähigkeit auch über längere Zeiten, da in Experimenten sowohl trockene als auch benetzte Samen in ruhigem Wasser während 10 Tagen auf der Oberfläche schwammen (Lanz & Stecher, 2009). Nur bei fehlendem Pappus kann die Schwimmfähigkeit beeinträchtigt werden. Die kurzen, starken Turbulenzen, die durch das Auftreffen des herabstürzenden Wassers auf die Wasseroberfläche verursacht wurden, verminderten die Schwimmfähigkeit der Samen ohne Pappus signifikant. Auch in Experimenten von Lanz & Stecher (2009) verursachten lange Turbulenzen das Absinken von 100 % der Samen ohne Pappus, während die Samen mit Pappus wieder aufschwammen. Dabei spielt die Dauer der Turbulenzen eine Rolle. Umso länger die Turbulenzen dauerten, desto weniger Samen tauchten wieder auf.

Das Vorhandensein und die Integrität des Pappus ist daher auch ein entscheidender Faktor in der Reaktion der Samen auf eingebaute Hindernisse. Die Schwimmfähigkeit von intakten Samen wird beim Passieren von eingebauten Hindernissen durch den Aufprall auf dem Wasser vermutlich nicht beeinträchtigt. Nur wenn sie den Pappus zuvor verloren haben,

können Hindernisse eine erfolgreiche Keimung verhindern, indem die Samen durch Absinken nicht an ideale Keimungsstandorte gelangen. Da der Anteil untergegangener Samen jedoch relativ klein war und der Verlust des Pappus eher unwahrscheinlich ist, können die Auswirkungen des Aufpralls der Samen auf der Wasseroberfläche auf die Samenverbreitung der *M. germanica* via Wasser als gering eingeschätzt werden. Es liessen sich jedoch keine Experimente mit ähnlicher Durchführung wie Experiment 3 in der Literatur finden und daher sind Experimente zur Bestätigung dieses Zusammenhanges nötig. Dabei sollte dieser Zusammenhang auch mit anderen Behandlungsarten, wie vorangehende Befeuchtung, untersucht werden.

5.4. Implikationen

Myricaria germanica weist deutlich geringere Etablierungserfolge als *Salix* (spp.) vor, welche ebenfalls Pionierarten auf Kiesstandorten und auf der Nordhemisphäre die dominierende Vegetation an Fliessgewässern sind (Kehl, Reuter, & Aas, 2008; N. Müller, 2014). Neben der tiefen Konkurrenzfähigkeit der *M. germanica* gibt es auch eine mögliche morphologische Erklärung dafür. Wie *M. germanica* gehört *Salix* zu der Gruppe der Schirmflieger und besitzt pinselartige Haarschöpfe als Flugvorrichtungen, wodurch sie sich anemochor verbreiten kann (P. Müller, 1956). Die *Salix*-Arten besitzen jedoch einen doppelten Haarkranz, wovon einer als Flugorgan dient und der andere den Samen fixiert. Der Samen wird vom Haarkranz erst nach der Aufnahme von Wasser freigegeben, was eine Keimung auf zu trockenen Standorten verhindert (Kehl et al., 2008). Dies könnte im Vergleich zu den ungeschützten Samen der *M. germanica* ein Vorteil sein, da dadurch das Keimen an genügend feuchten Standorten sichergestellt wird. In der Literatur gibt es keine Hinweise auf die Rolle des Pappus der *Salix* für die hydrochore Samenverbreitung, obwohl diese Samenverbreitung bei *Salix* vorkommt (Gonzalez, Bourgeois, Masip, & Sher, 2016). Ein Vergleich der hydrochoren Ausbreitung von *Salix* und *M. germanica* könnte weitere Informationen zur Relevanz des Pappus in der Samenverbreitung via Wasser liefern.

Ein weiterer Grund für die kürzeren Ausbreitungsdistancen der *M. germanica* gegenüber ihrer Konkurrenz könnte der Zeitpunkt der Samenproduktion sein. Bei *Salix* (spp.) und *Populus* (spp.) wurde eine zeitliche Übereinstimmung der maximalen Samenproduktion mit dem maximalen Wasserfluss und der nachfolgenden Abnahme der fliessenden Wassermenge beobachtet (Gage & Cooper, 2005). Dadurch kann die hydrochore Verbreitung durch Hochwasserereignisse maximiert werden (Gage & Cooper, 2005). Die Samenproduktion der *Myricaria germanica* findet jedoch erst nach den Hochwasserereignissen im Frühjahr statt, was eine Ausbreitung durch Hochwasser unwahrscheinlich macht und auch die idealen Bedingungen für die Keimung nicht ausnutzt (H. C. Bill et al., 1997).

Die Relevanz der gefundenen Ergebnisse zeigt sich darin, dass sie erste Hinweise auf die Auswirkungen von kanalisiertem Flussabschnitten und eingebauten Hindernissen auf die Samenverbreitung der *M. germanica* via Wasser geben. Eine negative Beeinflussung von intakten Samen durch den Aufprall auf der Wasseroberfläche konnte in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden. In Fliessgewässern gibt es auch natürliche Hindernisse (Göggel &

Wagner, 2006) und daher sollten die Samen der *M. germanica* eine gewisse Anpassung an Abstürze vorweisen. Jedoch benötigt es genauere Untersuchungen der Turbulenzen, welche durch Hindernisse verursacht werden, und ob die Samen durch die permanenten Wasserstrudel zurückgehalten werden.

Jedoch können die durch den Menschen verursachten Veränderungen an den Fließgewässern aus anderen Gründen die Verbreitung der Samen verhindern. Kraftwerke können die Samen zurückhalten und eingebaute Geschiebesammler die Samen mit den Sedimenten entnehmen oder durch die grossen Mengen an Sedimenten mechanisch zerstören. Die Zerstörung und Beeinträchtigung der Habitate ist jedoch vermutlich der Hauptgrund für den Rückgang der Verbreitung der *M. germanica*.

5.5. Methodenkritik

Die Analysierung der signifikanten Unterschiede zwischen den Tagen der Experimentdurchführungen von Experiment verlängerte Wasseraufenthalte und Pappus und Vorbefeuchtung der Samen (vgl. 4.5. Datenerhebung) ergibt keine offensichtlichen Gründe. Die Experimente wurden nach dem gleichen Ablauf durchgeführt und es wurden auch keine Probleme wie Pilzbefall registriert. Jedoch wurden sowohl Experiment verlängerte Wasseraufenthalte als auch Experiment Pappus und Vorbefeuchtung der Samen an drei Tagen durchgeführt. Somit kann eine Verteilung der Datenerhebung auf mehrere Tage einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis haben. Experiment Abstürze im Wasser wurde nur an 2 Tagen durchgeführt und es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tagen festgestellt. Die Datenerhebung unterliegt einer gewissen subjektiven Arbeitsweise und eine zunehmende Anzahl Tage kann eine variierende Experimentdurchführung verursachen. Dies muss vom Experimentator nicht zwangsläufig bemerkt werden, kann jedoch zu veränderten Resultaten führen.

Eine andere Erklärung für die Unterschiede zwischen den Experimentdurchführungen könnte eine Veränderung der Keimfähigkeit der Samen selber sein. In Experimenten von H.-C. Bill et al. (1999) verschlechterte oder verbesserte sich je nach untersuchter Pflanzenart die Keimfähigkeit von 6 Monaten gelagerten Samen im Vergleich zur Keimfähigkeit von frischen Samen. Die Keimraten in dieser Arbeit wurden jedoch mit den Keimraten der Kontrollgruppe angepasst, um für so einen Effekt zu korrigieren. Kühl gelagerte *M. germanica* Samen wiesen in Experimenten fast keine Veränderungen in den Keimraten auf (Lener et al., 2013) und die verwendeten Samen wurden nur für kurze Zeit und jeweils kühl gelagert. Daher ist diese Erklärung eher unwahrscheinlich.

Eine Limitation dieser Arbeit war das Vernachlässigen der Auswirkungen von versehentlich verursachten Turbulenzen auf die Schwimmfähigkeit. In Experiment Abstürze im Wasser erfolgte der Absturz des Wassers in ein Becken, wodurch das Wasser nach dem Absturz nicht weitergeflossen ist und Turbulenzen entstanden sind. Turbulenzen, die herabstürzendes Wasser auf der Wasseroberfläche verursacht, gibt es zwar auch in natürlichen Fließgewässern. Jedoch kann die nachfolgende Bewegung des Wassers im Becken

unnatürliche Turbulenzen verursacht haben, die einen Einfluss auf die Schwimmfähigkeit ausüben. Eine Verbesserung wäre daher das Weiterfliessen des Wassers nach dem Absturz in ein weiteres Becken. Dies würde einen natürlichen Fluss besser simulieren und unnatürliche Turbulenzen im Becken vermeiden. Da dies jedoch mit erheblich grösserem Aufwand verbunden ist, wurde es aufgrund des begrenzten Umfangs dieser Arbeit nicht umgesetzt.

Eine weitere Limitation dieser Arbeit liegt in der Messung der Keimfähigkeit, die nur durch die Keimrate gemessen wurde. Jedoch kann der Anteil voll entwickelter Samen um einiges kleiner sein, als der Anteil gekeimter Samen (Lener, 2011). Die Untersuchung der Etablierungsfähigkeit, d.h. ob sich die Samen zu voll entwickelten Keimlingen mit Blattaustrieb entwickeln, wäre daher ebenfalls relevant. Es sollte auch die Zeitdauer, welche die Samen zur Keimung oder Etablierung von voll entwickelten Keimlingen benötigen, gemessen werden. In Experimenten von Bregy & Benkler (2010) zeigten die Samen erst Reaktionen auf Wasserstress, nachdem sich die sekundären Blätter bereits gebildet hatten.

Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass mit der gewählten Experimentanordnung die Realität der natürlichen Fliessgewässer stark vereinfacht werden musste. Dies war für den Umfang dieser Arbeit erforderlich und nur dadurch konnte der Einfluss der zu untersuchenden Faktoren bestimmt werden. In weiterführenden Experimenten sollten jedoch weitere Faktoren miteinbezogen werden, um deren Einfluss und einen kumulativen Einfluss durch das Zusammenspiel dieser Faktoren zu überprüfen. Dazu gehört die Verwendung von fliessendem bzw. turbulentem Wasser oder die Zugabe von Sedimenten ins Wasser. Dabei sollte der Einfluss dieser Faktoren auf die Keim- und Schwimmfähigkeit zuerst einzeln und dann zusammen überprüft werden.

6. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Keimfähigkeit durch längere Aufenthaltszeiten im Wasser und durch eine Befeuchtung des Samens vor dem Wasseraufenthalt begünstigt, anstatt beeinträchtigt wurde. Der Absturz der Samen aus zwei verschiedenen Fallhöhen beeinträchtigte die Keimfähigkeit hingegen nicht. Die erste Hypothese und die Aussagen über die Keimfähigkeit in der zweiten und dritten Hypothese mussten somit verworfen werden. Die Aussagen über die Schwimmfähigkeit in der zweiten und dritten Hypothese wurden jedoch bestätigt. Wie stark die Schwimmfähigkeit beeinträchtigt wurde, war von der Art der Behandlung abhängig. Das Entfernen des Pappus beeinträchtigte die Schwimmfähigkeit nach dem Absturz, wobei dieser Zusammenhang mit zunehmender Fallhöhe jedoch nicht signifikant verstärkt wurde. Wurden die Samen ohne Pappus zuvor stark befeuchtet, wurde die Schwimmfähigkeit auch ohne Absturz signifikant beeinträchtigt.

Gewisse Eigenschaften von anthropogen veränderten Fließgewässern wie Abstürze können negative Auswirkungen auf die Samenausbreitung via Wasser haben. Andere Eigenschaften wie verlängerte Aufenthaltszeiten der Samen im Wasser haben keine negativen Auswirkungen. Diese Zusammenhänge setzen gewisse Bedingungen, namentlich das Verlieren des Pappus, voraus. Der Pappus spielt somit eine wichtige Rolle bei der Samenverbreitung via Wasser. Jedoch verlieren die Samen den Pappus vermutlich nur selten, da dieser sehr gut an der Samenhülle befestigt ist. Daher ist es fraglich wie gross die Auswirkungen dieser Zusammenhänge auf das Vorkommen der *M. Germanica* sind. Im Vergleich zu anderen Auswirkungen der menschlichen Aktivitäten auf die Fließgewässer ist die Relevanz der in dieser Arbeit untersuchten Zusammenhänge als eher gering einzuschätzen.

Die Ergebnisse stimmen mit der bisherigen Forschung überein. Das Durchqueren von kanalisierten Flussabschnitten sollte die Keimfähigkeit der Samen der *M. germanica* nicht beeinträchtigen. Wichtig ist, dass die kanalisierten Flussabschnitte nicht zu lang sind, sodass die Schwimmfähigkeit der Samen zur Durchquerung dieser Flussabschnitte reicht. Die Auswirkungen von künstlichen Hindernissen und den damit verbundenen Abstürzen auf die hydrochore Samenausbreitung wurden jedoch bisher zu wenig untersucht und daher können keine Empfehlungen abgegeben werden. In dieser Arbeit wurden nur Auswirkungen des Aufpralls der Samen auf der Wasseroberfläche untersucht, jedoch können andere Aspekte der Hindernisse negative Auswirkungen haben. Dazu gehört die Rückhaltung der Samen einerseits durch Hindernisse vor dem Absturz und andererseits durch Turbulenzen, welche nach dem Auftreffen des Wassers auf der Wasseroberfläche entstehen. Weiterführende Forschung, welche diese Aspekte miteinbezieht und die Ergebnisse aus dieser Arbeit bestätigt, ist daher nötig.

7. Literaturverzeichnis

- BAFU. (2012). Wasserbau und Ökologie.
- Bang, A., Nilsson, C., & Holm, S. (2007). The potential role of tributaries as seed sources to an impoundment in northern Sweden: A field experiment with seed mimics. *River Research and Applications*, 24, 1049–1057. <https://doi.org/10.1002/rra.1014>
- Bertossa, R. (1954). Das Misox. *Bündner Schulblatt*, 13(4), 167–176.
- Bill, H.-C., Poschlod, P., Reich, M., & Plachter, H. (1999). Experiments and observations on seed dispersal by running water in an Alpine floodplain. *Bulletin Of the Geobotanical Institute ETH*, 65, 13–28.
- Bill, H. C., Spahn, P., Reich, M., & Plachter, H. (1997). Bestandsveränderungen und Besiedlungsdynamik der Deutschen Tamariske, *Myricaria germanica* (L.) Desv., an der Oberen Isar (Bayern). *Zeitschrift Fur Ökologie Und Naturschutz*.
- Bornand, C., Gygax, A., Juillerat, P., Jutzi, M., Möhl, A., Rometsch, S., ... Eggenberg, S. (2016). Rote Liste Gefässpflanzen. Gefährdete Arten der Schweiz. *Umwelt-Vollzug*, 1621, 1–178. Retrieved from <http://www.fachinfo.de/suche/fi/013031>
- Bregy, J., & Benkler, C. (2010). *Myricaria Germanica* - Experiments regarding seed germination & water stress.
- BUWAL. (2005). Die Auen der Schweiz. Bern, Faltblatt.
- Delarze, R., Gonseth, Y., & Galland, P. (2008). *Lebensräume der Schweiz: Ökologie, Gefährdung, Kennarten*. Ott Verlag Thun.
- Egger, G., Baur, P. A., Lautsch, E., Stöhr, O., Brunner, E., Senfter, S., ... Schletterer, M. (2017). Habitate und Vorkommen der Deutschen Ufer-Tamariske (*Myricaria germanica* (L.) Desv.): Vergleich zwischen Voll- und Restwasserstrecken. *Carinthia II*, 207./127., 401–430.
- Ellenberg, H., & Leuschner, C. (2010). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Utb. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2012.01443.x>
- Fink, S., Lanz, T., Stecher, R., & Scheidegger, C. (2017). Colonization potential of an endangered riparian shrub species. *Biodiversity and Conservation*, 26(9), 2099–2114. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1347-3>
- Gage, E. A., & Cooper, D. J. (2005). Patterns of willow seed dispersal, seed entrapment, and seedling establishment in a heavily browsed montane riparian ecosystem. *Canadian Journal of Botany*, 83(6), 678–687. <https://doi.org/10.1139/b05-042>
- Göggel, W., & Wagner, T. (2006). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Ökomorphologie Stufe S. *Umwelt Vollzug*.
- Gonzalez, E., Bourgeois, B., Masip, A., & Sher, A. A. (2016). Trade-offs in seed dispersal strategies across riparian trees: The how matters as much as the when. *River Research and Applications*, 32, 786–794. <https://doi.org/10.1002/rra.2899>
- Gostner, W., Paternolli, M., Schleiss, A. J., Scheidegger, C., & Werth, S. (2017). Gravel bar inundation frequency : an important parameter for understanding riparian corridor dynamics. *Aquatic Sciences*, 79, 825–839. <https://doi.org/10.1007/s00027-017-0535-2>
- Heenan, P. B., de Lange, P. J., Glenny, D. S., Breitwieser, I., Brownsey, P. J., & Ogle, C. C. (1999). Checklist of dicotyledons, gymnosperms, and pteridophytes naturalised or casual in New Zealand: Additional records 1997–1998. *New Zealand Journal of Botany*, 37(4), 629–642. <https://doi.org/10.1080/0028825X.1999.9512658>
- Internationale Regierungskommission Alpenrhein. (2001). Morphologie und Geschiebehalt Alpenrhein, (November).

- Kehl, A., Reuter, A., & Aas, G. (2008). Einfluss der Phänologie der Samenausbreitung und des Wasserstandes auf die Etablierung von Keimlingen verschiedener Mix-Arten an renaturierten Auenstandorten. *Tuexenia*, 28, 85–101.
- Kudrnovsky, H. (2005). Die Deutsche Tamariske (*Myricaria Germanica*) und ihre FFH-Ausweisung in Österreich. *Health Bulletin*, (83–84), 2225–2228.
- Kudrnovsky, H. (2011). Natura 200 und Alpine Flüsse mit Ufergehölz von *Myricaria Germanica* (LRT 3230).
- Kudrnovsky, H., & Stöhr, O. (2013). *Myricaria germanica* (L.) Desv. historisch und aktuell in Österreich: ein dramatischer Rückgang einer Indikatorart von europäischem Interesse. *Stapfia*, 99, 13–34.
- Lachat, T., Pauli, D., Gonseth, Y., Klaus, G., Scheidegger, C., Vittoz, P., & Walter, T. (2010). Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900: ist die Talsohle erreicht? In *Bristol-Schriftenreihe* (pp. 25–36).
- Lanz, T., & Stecher, R. (2009). Untersuchungen zur Samenproduktion und -ausbreitung einer Kleinpopulation von MYRICARIA GERMANICA an der Sense.
- Lauber, K., & Wagner, G. (1998). *Flora Helvetica*. *Flora Helvetica*. <https://doi.org/doi:10.1002/fedr.19971080522>
- Lener, F. P. (2011). Etablierung und Entwicklung der Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica*) an der oberen Drau in Kärnten, 1–203.
- Lener, F. P., Egger, G., & Karrer, G. (2013). Sprossaufbau und Entwicklung der Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica*) an der Oberen Drau (Kärnten, Österreich). *Carinthia II*, 203/123, 515–552.
- Moor, M. (1958). Pflanzengesellschaften Schweizerischer Flussauen. *Schweizerische Anstalt Für Das Forstliche Versuchswesen*, 34(4), 221–360.
- Mörz, S. (2013). Einfluss des Keimsubstrats auf die Etablierung und das Konkurrenzverhalten von aulentypischen Pflanzenarten sowie invasiven Pflanzenarten.
- Müller, N. (2014). Wasserkraftanlagen und FFH-Lebensräume „Alpine Flüsse“ unter besonderer Berücksichtigung der Deutschen Tamariske in Tirol. I. A. *Amt Der Tiroler Landesregierung, Abt. Umweltschutz*, 1–46. Retrieved from www.tirol.gv.at/umwelt/naturschutz/publikationen/
- Müller, P. (1956). Verbreitungsbiologie der Blütenpflanzen. *The Journal of Ecology*, 48, 130. <https://doi.org/10.2307/2257173>
- Nathan, R. (2006). Long-distance dispersal of plants. *Science*, 313(5788), 786–788. <https://doi.org/10.1126/science.1124975>
- Ogle, D. H., Wheeler, P., & Dinno, A. (2019). FSA: Fisheries Stock Analysis. Retrieved from <https://github.com/droglenc/FSA>
- Ouborg, N. J., Piquot, Y., & Van Groenendael, J. M. (1999). Population genetics, molecular markers and the study of dispersal in plants. *Journal of Ecology*, 87(4), 551–568. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00389.x>
- Papula, L. (2018). *Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler - Anwendungsbeispiele* (8th ed.). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-93586-1>
- R Core Team. (2018). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.r-project.org>
- Schletterer, M., & Scheiber, T. (2008). Wiederansiedlung der Deutschen Tamariske (*Myricaria germanica* (L.) DESV.) an der Leutascher Ache (Nordtirol, Österreich). *Ber.*

- Nat.-Med. Verein Innsbruck*, 95, 53–65.
- Schweizerischer Bundesrat. (1991). Verordnung über den Natur- und Heimatschutz. *Denkmalpflege*, 1–30.
- Universität Zürich. (2018). UZH - Methodenberatung - Datenanalyse mit SPSS. Retrieved December 23, 2019, from https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss.html
- Werth, S., Alp, M., Karpati, T., Gostner, W., Scheidegger, C., & Peter, A. (2012). Biodiversität in Fließgewässern, 1–6.
- Werth, S., & Scheidegger, C. (2014). Gene Flow within and between Catchments in the threatened riparian plant *Myricaria germanica*. *PLoS ONE*, 9(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099400>
- Werth, S., Schödl, M., & Scheidegger, C. (2014). Dams and canyons disrupt gene flow among populations of a threatened riparian plant. *Freshwater Biology*, 59(12), 2502–2515. <https://doi.org/10.1111/fwb.12449>
- Zeh Weissmann, H., Könitzer, C., & Bertiller, A. (2009). Strukturen der Fließgewässer in der Schweiz, (April).

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Adulte <i>Myricaria germanica</i> (Aufnahme: 23.07.2019) am Rhein bei Zizers.....	8
Abbildung 2: Blüten und geschlossene Samenkapseln (Aufnahme: 23.07.2019) am Rhein bei Zizers.....	10
Abbildung 3: geöffnete Samenkapseln und Samen (Aufnahme: 17.06.2019) am Rhein bei Zizers.....	10
Abbildung 4: Verbreitung der Vorkommen der <i>Myricaria germanica</i> in der Schweiz vor 2018 (grau) und nach 2018 (grün). Quelle: Info Flora (https://www.infoflora.ch/de/flora/myricaria-germanica.html#ecology). Zugriff: 08.08.2019.....	12
Abbildung 5: Der Fluss Rhein und sein Verlauf zwischen Zizers und Landquart. Der Ort der Feldarbeit ist rot markiert. Quelle: Bundesamt für Landestopographie (map.geo.admin.ch) Zugriff: 06.09.2019	13
Abbildung 6: Ort der Feldarbeit. Der Teil der Kiesbank, der flächendeckend rot umrandet ist, war zum Zeitpunkt der Feldarbeit abgetragen. Quelle: Bundesamt für Landestopographie (map.geo.admin.ch) Zugriff: 06.09.2019	13
Abbildung 7: Samen mit angedeuteter Keimwurzelbildung (Aufnahme: 26.06.2019), Vergrößerung x 5.....	16
Abbildung 8: Samen mit ausgebildeter Keimwurzel (Aufnahme: 26.06.2019), Vergrößerung x 5	16
Abbildung 9: Experimentanordnung des Experiment 1 (Aufnahme: 10.07.2019)	17
Abbildung 10: Experimentanordnung des Experiment 3 (Aufnahme: 06.08.2019)	20
Abbildung 11: QQ-Plot der Daten aus dem Experiment 1.....	22
Abbildung 12: QQ-Plot der Daten aus dem Experiment 2.....	22
Abbildung 13: QQ-Plot der Daten aus dem Experiment 3.....	22
Abbildung 14: Anzahl gekeimter Samen in Abhängigkeit von der Wasserbehandlungsdauer	23
Abbildung 15: Anzahl gekeimter Samen in Abhängigkeit von der Samenbehandlung (t&mP = trocken und mit Pappus, t&oP = trocken und ohne Pappus, n&mP = nass und mit Pappus, , n&P = nass und ohne Pappus, , t&mP = trocken und mit Pappus, t&oP = trocken und ohne Pappus).....	24
Abbildung 16: Anzahl schwimmender Samen in Abhängigkeit von der Behandlungsart nach 60 Minuten Wasseraufenthalt	26
Abbildung 17: Anzahl schwimmender Samen der Kategorie nasse Samen ohne Pappus in Abhängigkeit von der Wasseraufenthaltsdauer	27
Abbildung 18: Anzahl gekeimter Samen in Abhängigkeit von der Behandlung und Absturzhöhe	28
Abbildung 19: Anzahl schwimmender Samen in Abhängigkeit von der Behandlung und Absturzhöhe	29

9. Anhang

9.1. Excel Daten

9.1.1. Experiment 1

Durchgang	Datum	Wasserbehandlungsdauer	Gekeimt	Nicht gekeimt	Total	Keimrate
1	23.6	0.5 h	20	0	20	100
1	23.6	1 h	19	1	20	95
1	23.6	3 h	20	0	20	100
2	23.6	0.5 h	12	8	20	60
2	23.6	1 h	15	5	20	75
2	23.6	3 h	20	0	20	100
3	10.7	0.5 h	20	0	20	100
3	10.7	1 h	20	0	20	100
3	10.7	3 h	20	0	20	100
4	10.7	0.5 h	20	0	20	100
4	10.7	1 h	20	0	20	100
4	10.7	3 h	20	0	20	100
5	19.7	0.5 h	20	0	20	100
5	19.7	1 h	20	0	20	100
5	19.7	3 h	20	0	20	100
6	19.7	0.5 h	20	0	20	100
6	19.7	1 h	20	0	20	100
6	19.7	3 h	20	0	20	100
7	19.7	0.5 h	20	0	20	100
7	19.7	1 h	20	0	20	100
7	19.7	3 h	20	0	20	100

9.1.2. Experiment 2

Durchgang	Datum	Pappus	Nässegrad	Behandlung	Gekeimt	Nicht gekeimt	Total	Schwimmend 10 min	Schwimmend 30 min	Schwimmend 60 min	Keimrate
1	11.7	mit Pappus	trocken	trocken mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
1	11.7	mit Pappus	feucht	feucht mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
1	11.7	mit Pappus	nass	nass mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
1	11.7	ohne Pappus	trocken	trocken ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
1	11.7	ohne Pappus	feucht	feucht ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
1	11.7	ohne Pappus	nass	nass ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
2	12.7	mit Pappus	trocken	trocken mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
2	12.7	mit Pappus	feucht	feucht mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
2	12.7	mit Pappus	nass	nass mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100

2	12.7	ohne Pappus	trocken	trocken ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
2	12.7	ohne Pappus	feucht	feucht ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
2	12.7	ohne Pappus	nass	nass ohne Pappus	25	0	25	17	18	19	100
3	12.7	mit Pappus	trocken	trocken mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
3	12.7	mit Pappus	feucht	feucht mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
3	12.7	mit Pappus	nass	nass mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
3	12.7	ohne Pappus	trocken	trocken ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
3	12.7	ohne Pappus	feucht	feucht ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
3	12.7	ohne Pappus	nass	nass ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
4	18.7	mit Pappus	trocken	trocken mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
4	18.7	mit Pappus	feucht	feucht mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
4	18.7	mit Pappus	nass	nass mit Pappus	25	0	25	25	25	25	100
4	18.7	ohne Pappus	trocken	trocken ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
4	18.7	ohne Pappus	feucht	feucht ohne Pappus	25	0	25	25	25	25	100
4	18.7	ohne Pappus	nass	nass ohne Pappus	25	0	25	19	20	22	100
5	18.7	mit Pappus	trocken	trocken mit Pappus	8	17	25	25	25	25	32
5	18.7	mit Pappus	feucht	feucht mit Pappus	23	2	25	25	25	25	92
5	18.7	mit Pappus	nass	nass mit Pappus	20	5	25	25	25	25	80
5	18.7	ohne Pappus	trocken	trocken ohne Pappus	14	11	25	25	25	25	56
5	18.7	ohne Pappus	feucht	feucht ohne Pappus	25	5	25	25	25	25	100
5	18.7	ohne Pappus	nass	nass ohne Pappus	25	2	25	16	16	16	100

9.1.3. Experiment 3

Datum	Absturzhöhe	Pappus	Gekeimt	Nicht gekeimt	Total	Schwimmend	Nicht schwimmend	Keimrate
6.8	70 cm	mit Pappus	20	0	20	20	20	100
6.8	70 cm	mit Pappus	20	0	20	20	20	100
6.8	70 cm	mit Pappus	20	0	20	20	20	100
6.8	70 cm	mit Pappus	19	1	20	20	20	95
6.8	70 cm	mit Pappus	20	0	20	20	20	100
6.8	100 cm	mit Pappus	20	0	20	20	20	100
6.8	100 cm	mit Pappus	20	0	20	20	20	100
6.8	100 cm	mit Pappus	19	1	20	20	20	95
6.8	100 cm	mit Pappus	20	0	20	20	20	100

6.8	100 cm	mit Pappus	19	1	20	20	20	95
7.8	70 cm	ohne Pappus	20	0	20	18	2	100
7.8	70 cm	ohne Pappus	20	0	20	20	0	100
7.8	70 cm	ohne Pappus	20	0	20	16	4	100
7.8	70 cm	ohne Pappus	20	0	20	16	4	100
7.8	70 cm	ohne Pappus	19	1	20	15	5	90
7.8	100 cm	ohne Pappus	20	0	20	15	5	100
7.8	100 cm	ohne Pappus	20	0	20	17	3	95
7.8	100 cm	ohne Pappus	20	0	20	16	4	95
7.8	100 cm	ohne Pappus	18	2	20	15	5	90
7.8	100 cm	ohne Pappus	20	0	20	13	7	95

9.2. R Output

9.2.1. Experiment 1

Exp1.R

mirjamschibler

Fri Feb 28 11:28:46 2020

```
# Arbeitspfad setzen
setwd("~/Documents/ETH/Bachelorstudium/ETH 6. Semester/Bachelor Arbeit/Statistische Auswertung/Einzelne Daten")

#Datensatz Laden
exp1 <- read.table("Exp. 1.csv", sep=",", header=T)
str(exp1)

## 'data.frame':    440 obs. of  6 variables:
## $ Durchgang      : int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Datum          : num  23.6 23.6 23.6 23.6 23.6 23.6 23.6 23.6 23.6
## $ Wasserbehandlungsdauer: num  0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5
## $ Gekeimt        : int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Nicht.gekeimt  : int  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...
## $ Total          : int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...

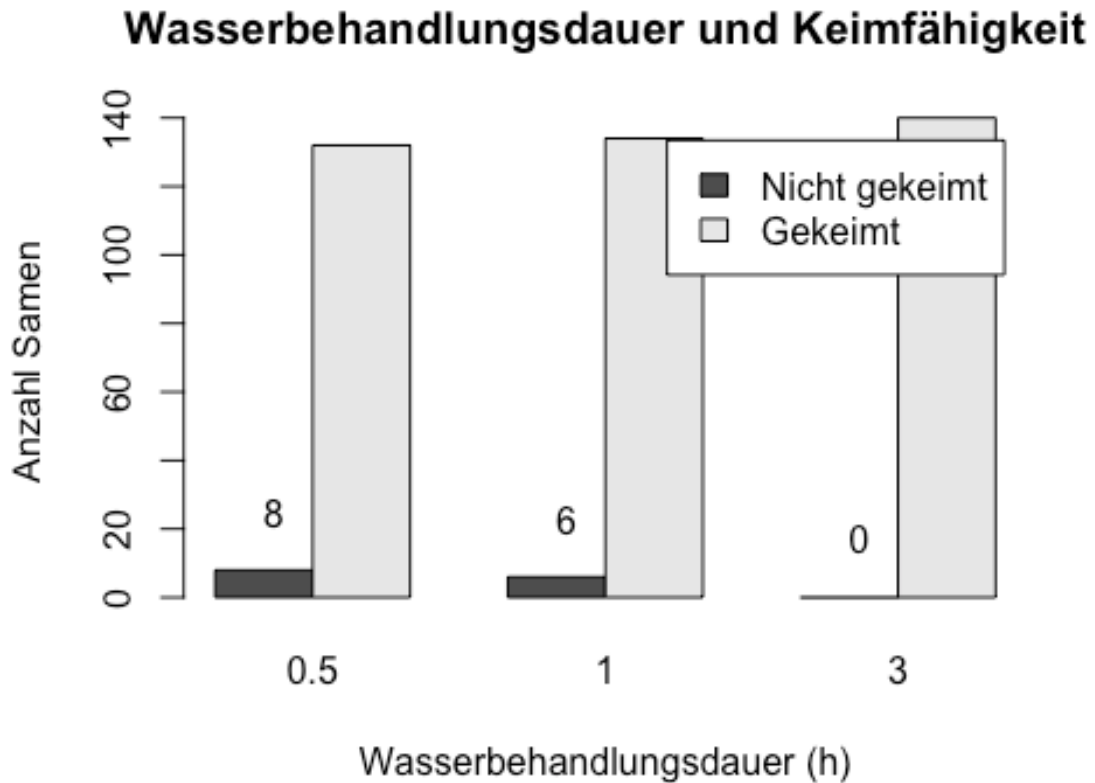
#####

##Darstellung des Datensatzes
##Barplot
tab.1 <- table(exp1$Gekeimt, exp1$Wasserbehandlungsdauer)
tab.1

##
##      0.5    1    3
```

```
## 0 8 6 0
## 1 132 134 140

bp.1 <- barplot(tab.1, beside=T, legend.text=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"),
  xlab="Wasserbehandlungsdauer (h)", ylab="Anzahl Samen", main="Wasserbe-
  handlungsdauer und Keimfähigkeit")
text(x=bp.1, y=tab.1, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.1, digits=
2), nsmall=0))
```

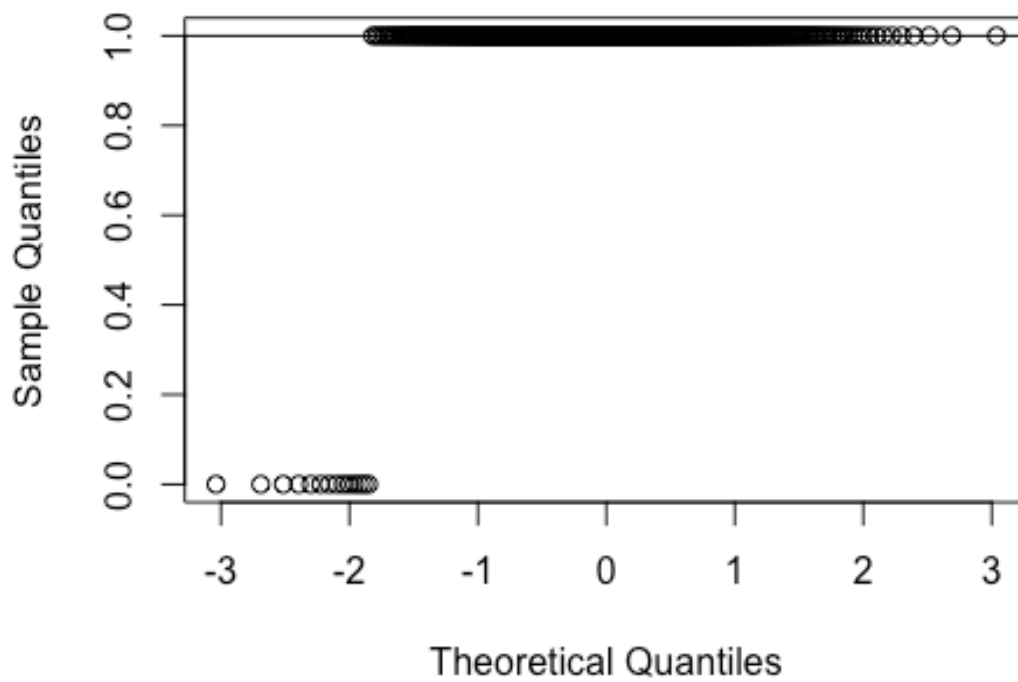


```
#####
##Test auf Normalverteilung
library(FSA)#für Dunn's Test

## ## FSA v0.8.25. See citation('FSA') if used in publication.
## ## Run fishR() for related website and fishR('IFAR') for related book.

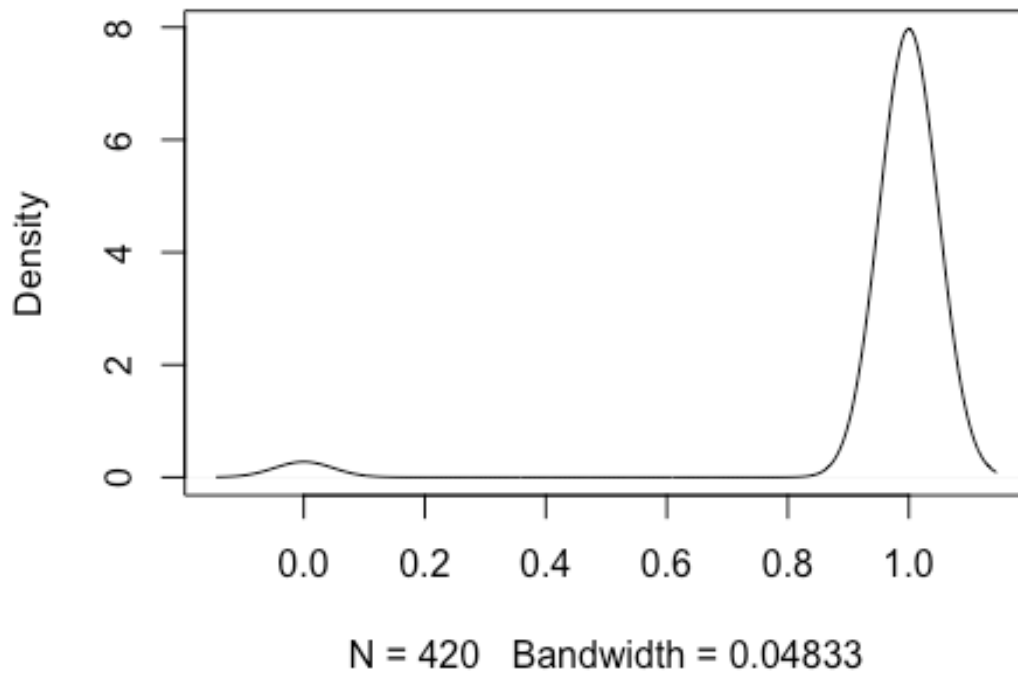
#QQ-Plot
qqnorm(exp1$Gekeimt, main="Experiment 1: Normal Q-Q Plot")
qqline(exp1$Gekeimt)
```

Experiment 1: Normal Q-Q Plot



```
#Dichtefunktion  
d.exp1 <- density(exp1$Gekeimt, na.rm=T)  
plot(d.exp1)
```

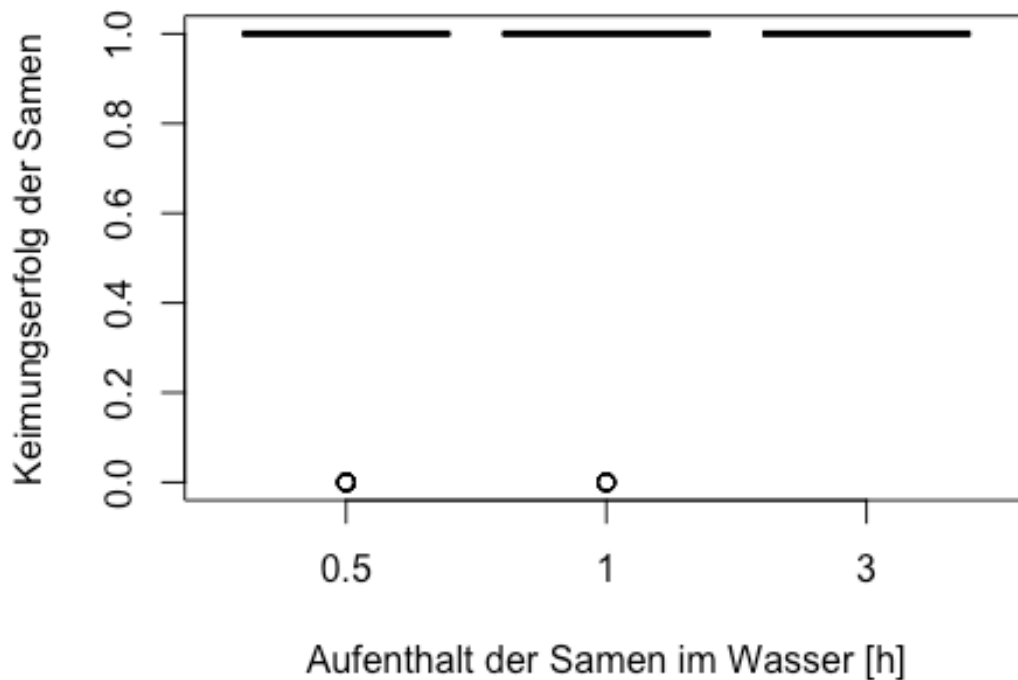
```
density.default(x = exp1$Gekeimt, na.rm = T)
```



```
#Boxplot
```

```
boxplot(Gekeimt~Wasserbehandlungsdauer, data=exp1, ylab="Keimungserfolg der Samen", xlab="Aufenthalt der Samen im Wasser [h]", main="Experiment 1: Wasseranwendungsdauer und Keimungserfolg")
```

Experiment 1: Wasseraufenthaltsdauer und Keimungs



```
#Shapiro.Test
shapiro.test(exp1$Gekeimt)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data:  exp1$Gekeimt
## W = 0.17107, p-value < 2.2e-16

#p-Wert: 2.2e-16

#Daten sind nicht normalverteilt: d.h. Zweistichproben t-Test, ANOVA und G
LM können nicht durchgeführt werden
#Alternativen: Kruskal-Wallis Test, Mann Whitney Test, Chi-square Test

#####

##Statistische Tests

#Signifikanzniveau: 0.05
#H0: Wasserbehandlungsdauer hat keinen Einfluss auf Gekeimt
#HA: Wasserbehandlungsdauer hat einen Einfluss auf Gekeimt

#####

##Chi-square
```

```

chisq.test(exp1$Wasserbehandlungsdauer, exp1$Gekeimt)

## Warning in chisq.test(exp1$Wasserbehandlungsdauer, exp1$Gekeimt): Chi-
## squared approximation may be incorrect

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: exp1$Wasserbehandlungsdauer and exp1$Gekeimt
## X-squared = 7.6847, df = 2, p-value = 0.02144

#p-Wert=0.02144: Nullhypothese kann verworfen werden -> signifikanter Zusam-
#menhang zwischen Gekeimt und Wasserbehandlungsdauer

#####

##Kruskal-Wallis Test

kruskal.test(Gekeimt~Wasserbehandlungsdauer, data=exp1)

##
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data: Gekeimt by Wasserbehandlungsdauer
## Kruskal-Wallis chi-squared = 7.6664, df = 2, p-value = 0.02164

#p-Wert=0.02164 -> signifikante Unterschied in Keimung zwischen den Gruppe-
#n unterschiedlicher Wasserbehandlungsdauer

exp1$Wasserbehandlungsdauer <- factor(exp1$Wasserbehandlungsdauer)
dunnTest(Gekeimt~Wasserbehandlungsdauer, data=exp1)

## Warning: Some rows deleted from 'x' and 'g' because missing data.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison

## p-values adjusted with the Holm method.

## Comparison Z P.unadj P.adj
## 1 0.5 - 1 -0.665052 0.506017236 0.50601724
## 2 0.5 - 3 -2.660208 0.007809241 0.02342772
## 3 1 - 3 -1.995156 0.046025869 0.09205174

#p-Wert 0.5 und 1: 0.506 -> kein signifikanter Unterschied
#p-Wert 0.5 und 3: 0.023 -> signifikanter Unterschied
#p-Wert 1 und 3: 0.092 -> kein signifikanter Unterschied

#####

###Vergleich zwischen Tagen der Datenerhebung

#####

```



```

##Chi-square
chisq.test(exp1$Datum, exp1$Gekeimt)

## Warning in chisq.test(exp1$Datum, exp1$Gekeimt): Chi-squared approximat
ion
## may be incorrect

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: exp1$Datum and exp1$Gekeimt
## X-squared = 36.207, df = 2, p-value = 1.373e-08

#p-Wert: 1.373e-08 -> signifikanter Zusammenhang

#####

##Kruskal-Wallis Test
kruskal.test(Gekeimt~Datum, data=exp1)

##
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data: Gekeimt by Datum
## Kruskal-Wallis chi-squared = 36.121, df = 2, p-value = 1.434e-08

#p-Wert: 1.434e-08 -> signifikanter Zusammenhang
exp1$Datum <- factor(exp1$Datum)
dunnTest(Gekeimt~Datum, data=exp1)

## Warning: Some rows deleted from 'x' and 'g' because missing data.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
## p-values adjusted with the Holm method.

## Comparison Z P.unadj P.adj
## 1 10.7 - 19.7 0.000000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 2 10.7 - 23.6 5.028368 4.946724e-07 9.893447e-07
## 3 19.7 - 23.6 5.508301 3.623136e-08 1.086941e-07

#p-Wert 10.7 und 19.7: 1
#p-Wert 10.7 und 23.6: 9.893447e-07 -> signifikanter Unterschied
#p-Wert 19.7 und 23.6: 1.086941e-07 -> signifikanter Unterschied

#####

```

9.2.2. Experiment 2

Exp2.R

mirjamschibler

Fri Feb 28 11:31:25 2020

```
#Arbeitspfad setzen
setwd("~/Documents/ETH/Bachelorstudium/ETH 6. Semester/Bachelor Arbeit/Statistische Auswertung/Einzelne Daten")

#Datensatz Laden
exp2 <- read.table("Exp. 2.csv",sep=";", header=T)
str(exp2)

## 'data.frame':    779 obs. of  11 variables:
## $ Durchgang      : int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Datum          : num  11.7 11.7 11.7 11.7 11.7 11.7 11.7 11.7 11.7
  11.7 ...
## $ Pappus         : Factor w/ 3 levels "", "mit Pappus", ...: 2 2 2 2 2
  2 2 2 2 2 ...
## $ Nässegrad     : Factor w/ 4 levels "", "feucht", "nass", ...: 4 4 4 4
  4 4 4 4 4 ...
## $ Behandlung   : Factor w/ 7 levels "", "f&mP", "f&oP", ...: 6 6 6 6 6
  6 6 6 6 6 ...
## $ Gekeimt       : int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Nicht.gekeimt : int  0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...
## $ Schwimmend.10.min: int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Schwimmend.30.min: int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Schwimmend.60.min: int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Total         : int  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...

summary(exp2)

##   Durchgang      Datum          Pappus      Nässegrad      Behandlung
## Min.   :1      Min.   :11.7          : 29          : 29          : 29
## 1st Qu.:2      1st Qu.:12.7      mit Pappus :375      feucht :250      f&mP:125
## Median :3      Median :12.7      ohne Pappus:375      nass   :250      f&oP:125
## Mean   :3      Mean   :14.9          trocken:250      n&mP:125
## 3rd Qu.:4      3rd Qu.:18.7          n&oP:125
## Max.   :5      Max.   :18.7          t&mP:125
## NA's   :29      NA's   :29          t&oP:125
##   Gekeimt      Nicht.gekeimt      Schwimmend.10.min      Schwimmend.30.min
## Min.   :0.0000      Min.   :0.00000      Min.   :0.0000      Min.   :0.000
## 1st Qu.:1.0000      1st Qu.:0.00000      1st Qu.:1.0000      1st Qu.:1.000
## Median :1.0000      Median :0.00000      Median :1.0000      Median :1.000
## Mean   :0.9533      Mean   :0.04667      Mean   :0.9693      Mean   :0.972
## 3rd Qu.:1.0000      3rd Qu.:0.00000      3rd Qu.:1.0000      3rd Qu.:1.000
## Max.   :1.0000      Max.   :1.00000      Max.   :1.0000      Max.   :1.000
## NA's   :29          NA's   :29          NA's   :29          NA's   :29
```

```

## Schwimmend.60.min      Total
## Min.      :0.000      Min.      :1
## 1st Qu.:1.000      1st Qu.:1
## Median :1.000      Median :1
## Mean    :0.976      Mean     :1
## 3rd Qu.:1.000      3rd Qu.:1
## Max.    :1.000      Max.     :1
## NA's    :29         NA's     :29

#####

####Darstellung in Plots

#####

##Keimfähigkeit

#####

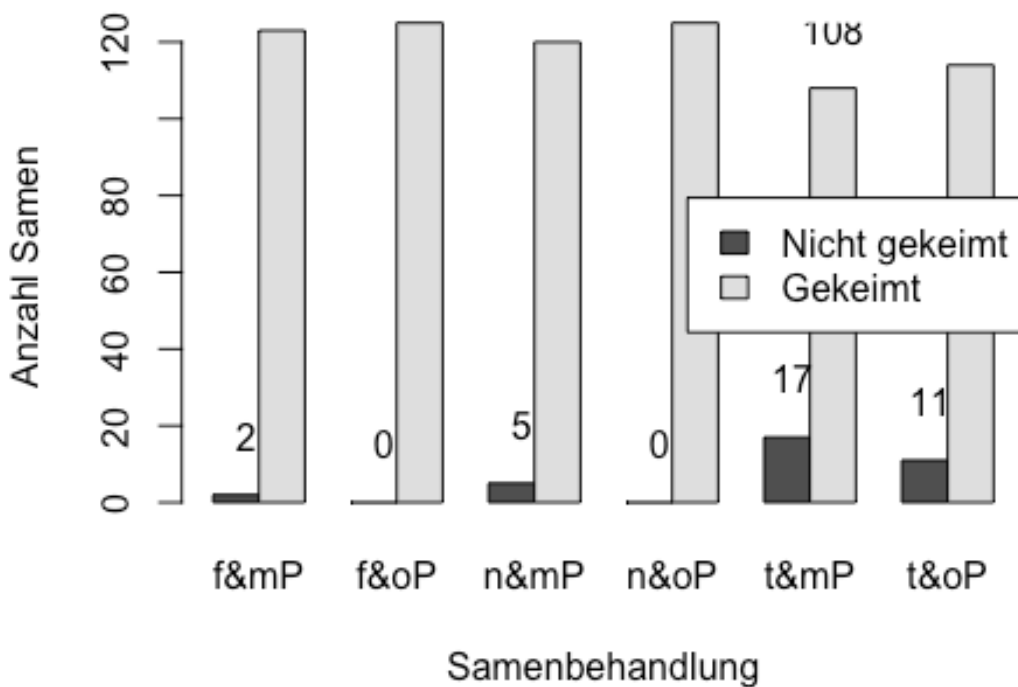
##Gesamter Datensatz
tab.2.1 <- table(exp2$Gekeimt, exp2$Behandlung)
tab.2.1 <- tab.2.1[,-1]
tab.2.1

##
##      f&mP f&oP n&mP n&oP t&mP t&oP
##  0      2    0    5    0   17   11
##  1  123  125  120  125  108  114

bp.2.1 <- barplot(tab.2.1, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Sam
enbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Samenbehandlung und Keimfähigkei
t")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gr
ay87"))
text(x=bp.2.1, y=tab.2.1, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.1, di
gits=2), nsmall=0))

```

Samenbehandlung und Keimfähigkeit

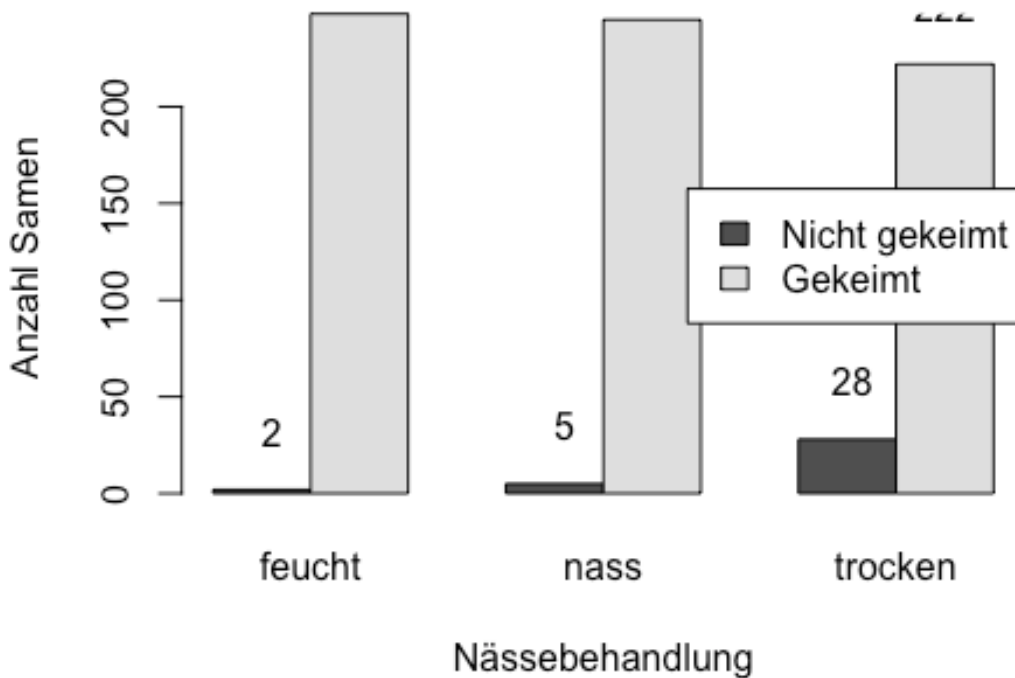


```
##Nässegrad
tab.2.2 <- table(exp2$Gekeimt, exp2$Nässegrad)
tab.2.2 <- tab.2.2[,-1]
tab.2.2

##
##   feucht nass trocken
##  0     2    5    28
##  1   248  245   222

bp.2.2 <- barplot(tab.2.2, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Näs
sebehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Nässebehandlung und Keimfähigkei
t")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gr
ay87"))
text(x=bp.2.2, y=tab.2.2, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.2, di
gits=2), nsmall=0))
```

Nässebehandlung und Keimfähigkeit

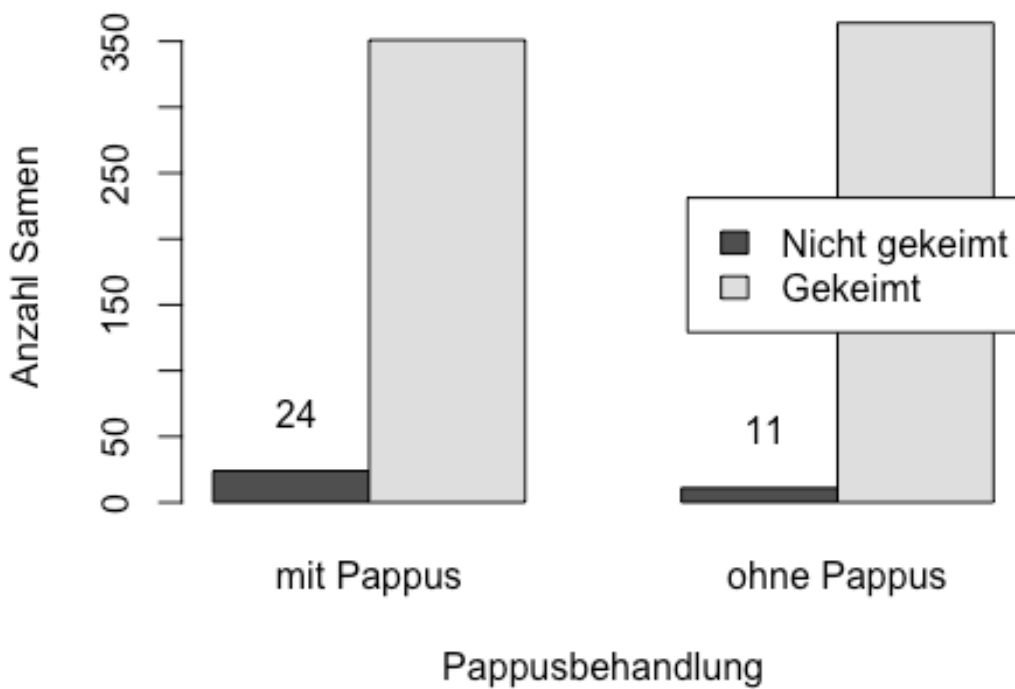


```
##Pappus
tab.2.3 <- table(exp2$Gekeimt, exp2$Pappus)
tab.2.3 <- tab.2.3[,-1]
tab.2.3

##
##      mit Pappus ohne Pappus
##  0         24         11
##  1        351        364

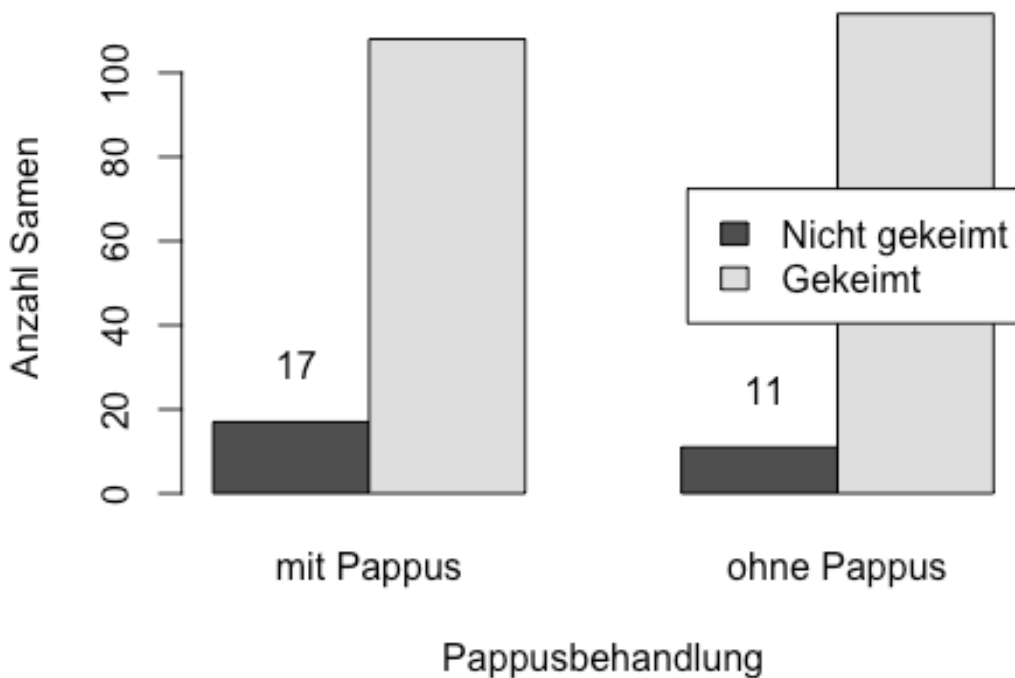
bp.2.3 <- barplot(tab.2.3, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Pappusbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Pappusbehandlung und Keimfähigkeit")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gray87"))
text(x=bp.2.3, y=tab.2.3, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.3, digits=2), nsmall=0))
```

Pappusbehandlung und Keimfähigkeit



```
#####
##Nässegrad
##Trockene Samen
tab.2.4 <- table(exp2$Gekeimt[exp2$Nässegrad=="trocken"], exp2$Pappus[exp2
$Nässegrad=="trocken"])
tab.2.4 <- tab.2.4[,-1]
tab.2.4
##
##      mit Pappus ohne Pappus
##  0         17         11
##  1        108        114
bp.2.4 <- barplot(tab.2.4, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Pap
pusbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Pappusbehandlung und Keimfähigk
eit von trockenen Samen")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gr
ay87"))
text(x=bp.2.4, y=tab.2.4, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.4, di
gits=2), nsmall=0))
```

Pappusbehandlung und Keimfähigkeit von trockenen Samen

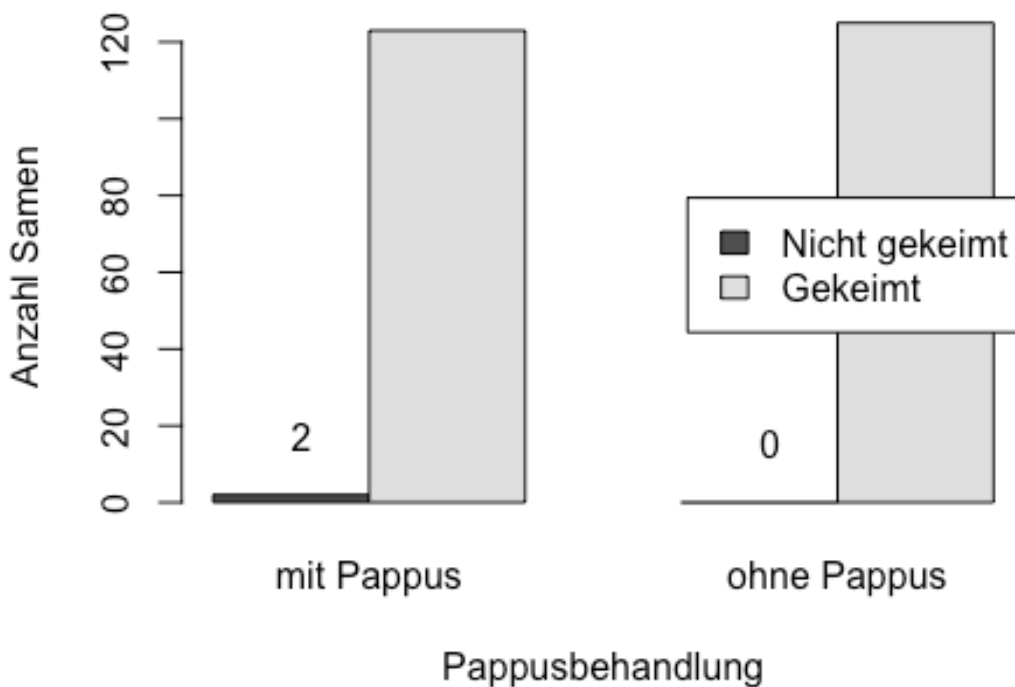


```
#Feuchte Samen
tab.2.5 <- table(exp2$Gekeimt[exp2$Nässegrad=="feucht"], exp2$Pappus[exp2
$Nässegrad=="feucht"])
tab.2.5 <- tab.2.5[,-1]
tab.2.5

##
##      mit Pappus ohne Pappus
##  0          2          0
##  1         123         125

bp.2.5 <- barplot(tab.2.5, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Pap
pusbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Pappusbehandlung und Keimfähigk
eit von feuchten Samen")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gr
ay87"))
text(x=bp.2.5, y=tab.2.5, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.5, di
gits=2), nsmall=0))
```

appusbehandlung und Keimfähigkeit von feuchten S

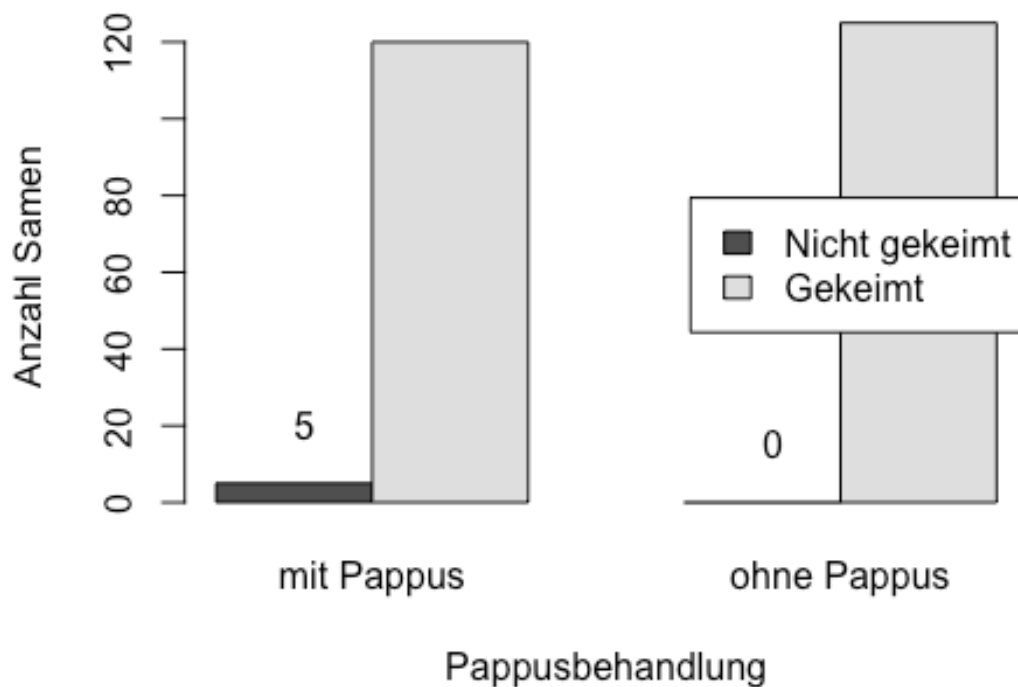


```
#Nasse Samen
tab.2.6 <- table(exp2$Gekeimt[exp2$Nässegrad=="nass"], exp2$Pappus[exp2$Nässegrad=="nass"])
tab.2.6 <- tab.2.6[,-1]
tab.2.6

##
##      mit Pappus ohne Pappus
##  0           5           0
##  1          120          125

bp.2.6 <- barplot(tab.2.6, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Pappusbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Pappusbehandlung und Keimfähigkeit von nassen Samen")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gray87"))
text(x=bp.2.6, y=tab.2.6, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.6, digits=2), nsmall=0))
```


Pappusbehandlung und Keimfähigkeit von nassen Samen

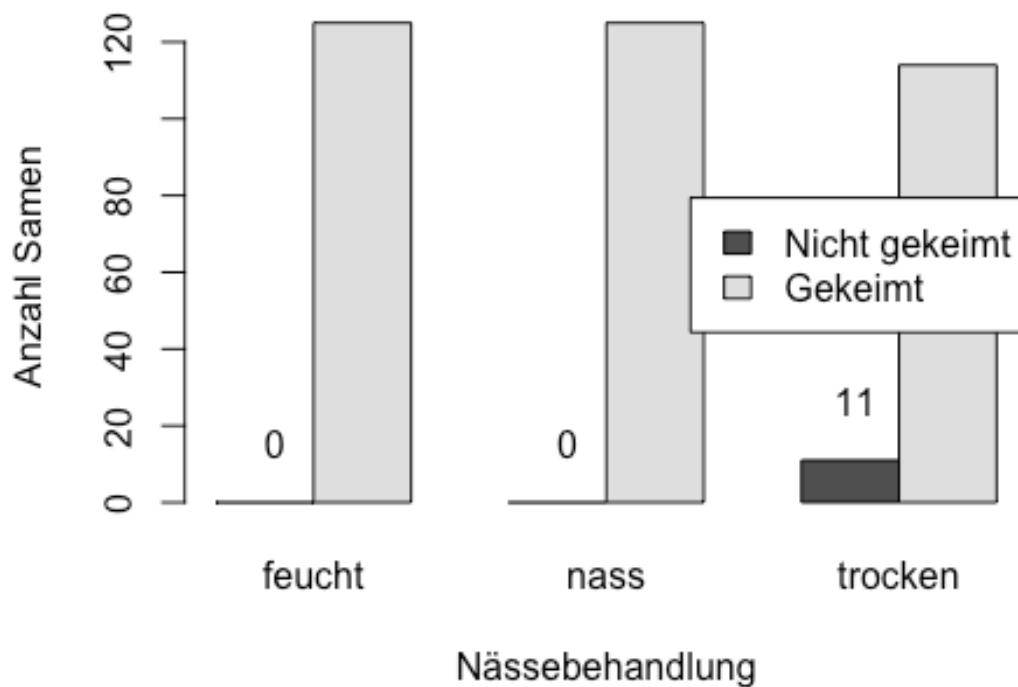


```
#####
#####Pappusbehandlung
#Ohne Pappus
tab.2.7 <- table(exp2$Gekeimt[exp2$Pappus=="ohne Pappus"], exp2$Nässegrad
[exp2$Pappus=="ohne Pappus"])
tab.2.7 <- tab.2.7[,-1]
tab.2.7

##
##      feucht nass trocken
##  0      0      0      11
##  1     125    125     114

bp.2.7 <- barplot(tab.2.7, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Näs
sebehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Nässebehandlung und Keimfähigkei
t von Samen ohne Pappus")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gr
ay87"))
text(x=bp.2.7, y=tab.2.7, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.7, di
gits=2), nsmall=0))
```

Nässebehandlung und Keimfähigkeit von Samen ohne Pappus

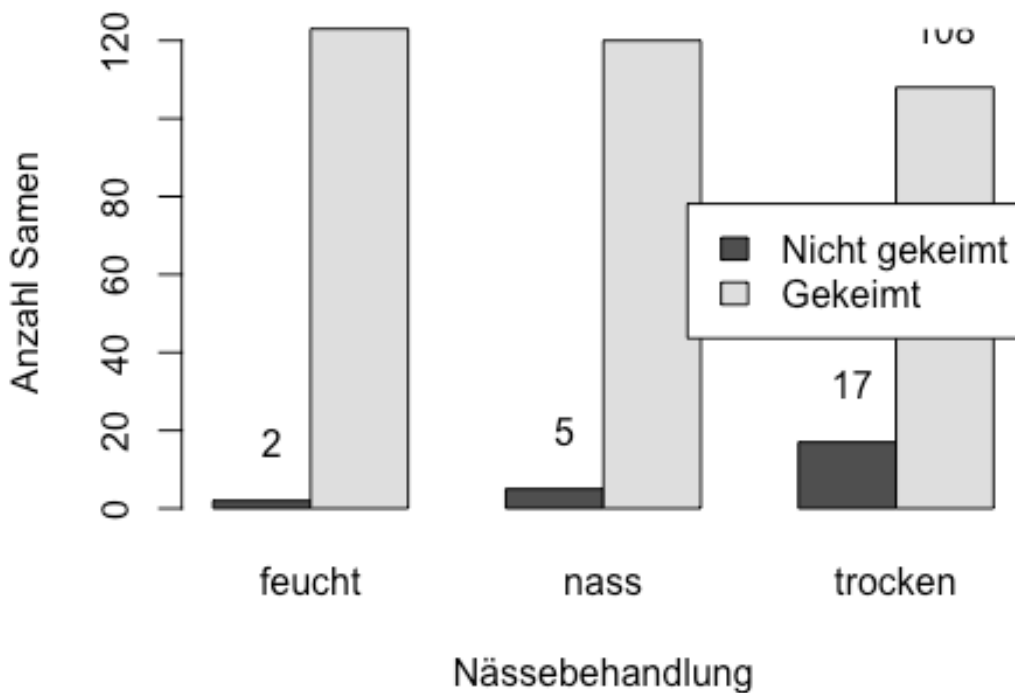


```
#Mit Pappus
tab.2.8 <- table(exp2$Gekeimt[exp2$Pappus=="mit Pappus"], exp2$Nässegrad[exp2$Pappus=="mit Pappus"])
tab.2.8 <- tab.2.8[,-1]
tab.2.8

##
##      feucht nass trocken
##  0         2    5     17
##  1      123  120    108

bp.2.8 <- barplot(tab.2.8, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Nässebehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Nässebehandlung und Keimfähigkeit von Samen mit Pappus")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gray87"))
text(x=bp.2.8, y=tab.2.8, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.8, digits=2), nsmall=0))
```

Nässebehandlung und Keimfähigkeit von Samen mit P



```
#####

##Schwimmfähigkeit

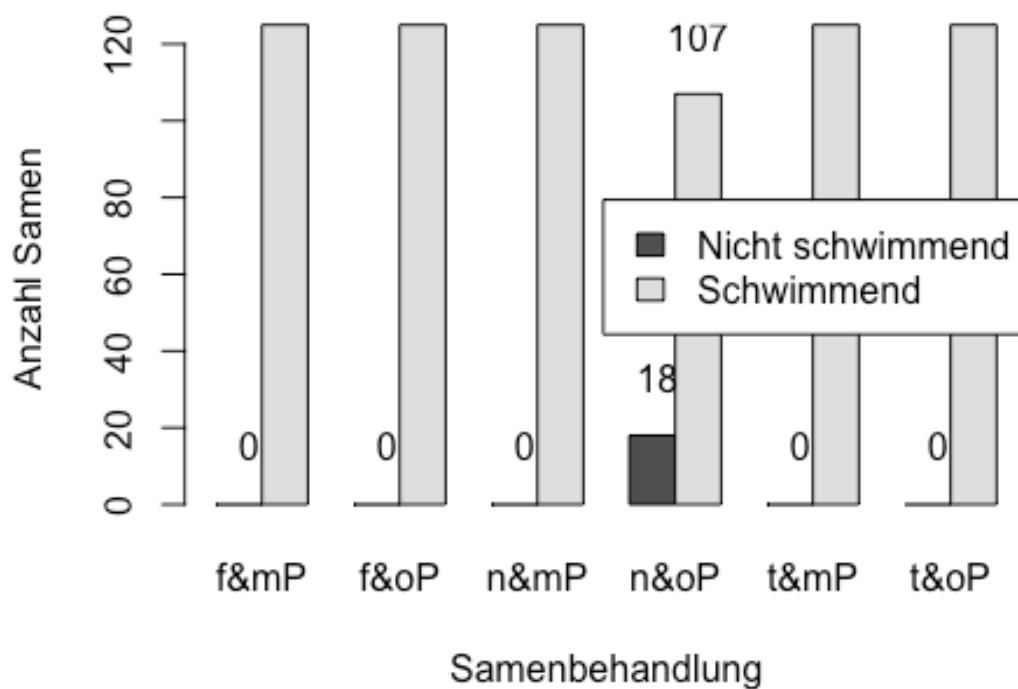
#####

#Gesamter Datensatz
tab.2.9 <- table(exp2$Schwimmend.60.min, exp2$Behandlung)
tab.2.9 <- tab.2.9[,-1]
tab.2.9

##
##      f&mP f&oP n&mP n&oP t&mP t&oP
##  0      0      0      0      18      0      0
##  1     125    125    125    107    125    125

bp.2.9 <- barplot(tab.2.9, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Sam
enbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Samenbehandlung und Schwimmfähig
keit nach 60 min Wasseraufenthalt")
legend("right", legend=c("Nicht schwimmend", "Schwimmend"), fill=c("gray31
", "gray87"))
text(x=bp.2.9, y=tab.2.9, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.2.9, di
gits=2), nsmall=0))
```

ehandlung und Schwimmfähigkeit nach 60 min Wass



```
#Nass und ohne Pappus
```

```
tab.2.10 <- subset(exp2, Behandlung=="n&oP",select=c(8,9,10))
```

```
tab.2.10 <- colSums(tab.2.10)
```

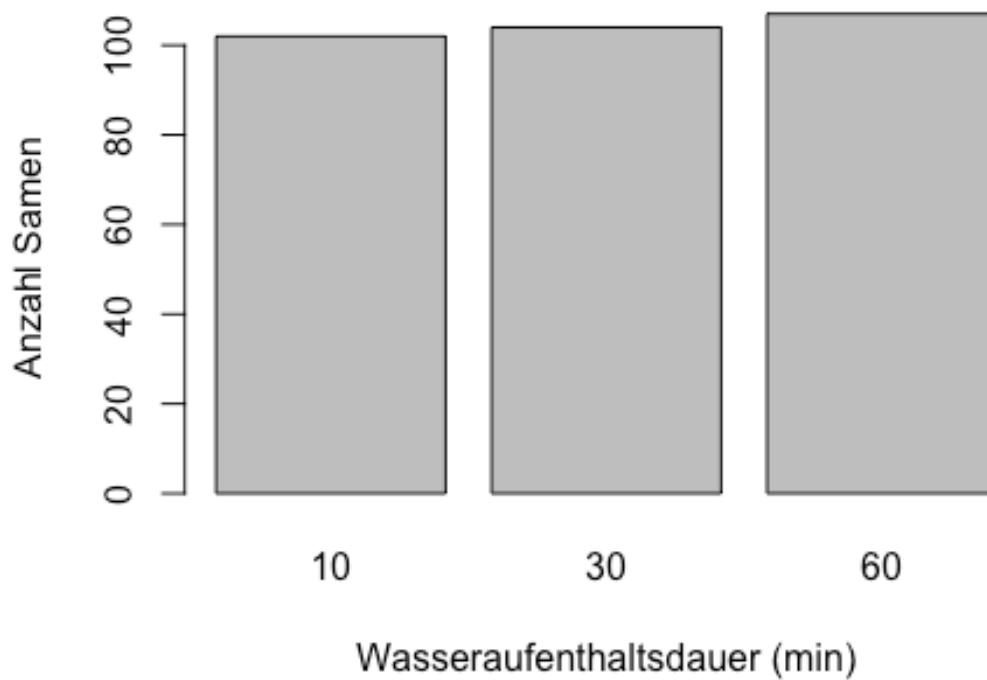
```
tab.2.10
```

```
## Schwimmend.10.min Schwimmend.30.min Schwimmend.60.min
```

```
##           102           104           107
```

```
bp.2.10 <- barplot(tab.2.10, names.arg = c("10", "30", "60"), xlab="Wasseraufenthaltsdauer (min)", ylab="Anzahl Samen", main="Anzahl aufgeschwommener Samen (nasse Samen ohne Pappus)")
```

ahl aufgeschwommener Samen (nasse Samen ohne |



```
####
```

```
#####
```

```
##Test auf Normalverteilung
```

```
library(FSA)#für Dunn's Test
```

```
## ## FSA v0.8.25. See citation('FSA') if used in publication.
```

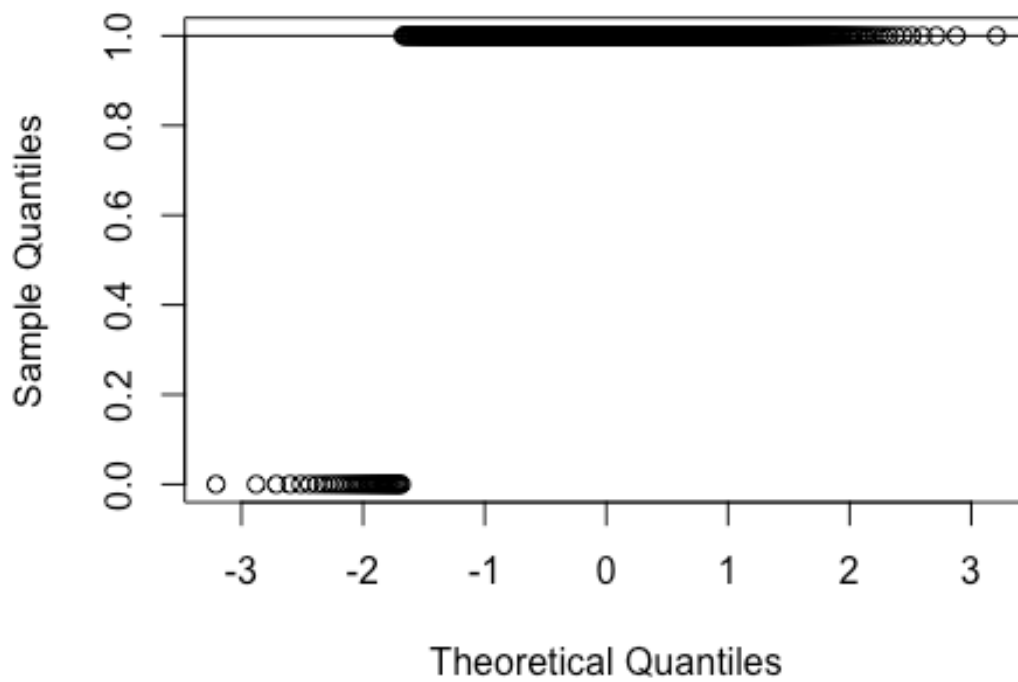
```
## ## Run fishR() for related website and fishR('IFAR') for related book.
```

```
#QQ-Plot
```

```
qqnorm(exp2$Gekeimt, main="Experiment 2: Normal Q-Q Plot")
```

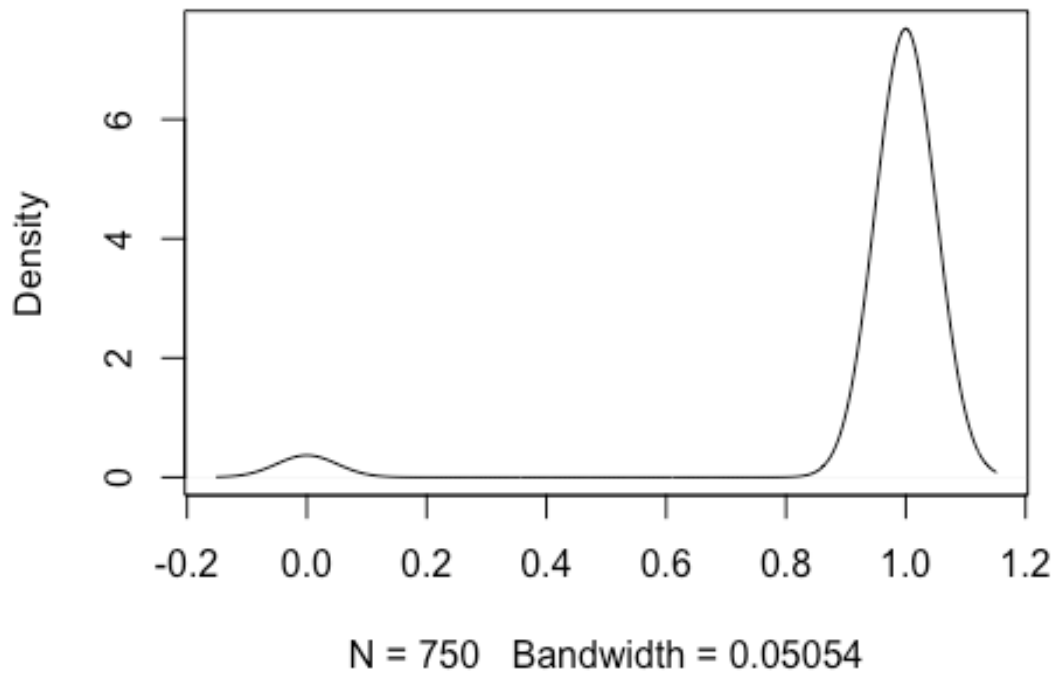
```
qqline(exp2$Gekeimt)
```

Experiment 2: Normal Q-Q Plot



```
#Dichtefunktion  
d.exp2 <- density(exp2$Gekeimt, na.rm=T)  
plot(d.exp2)
```

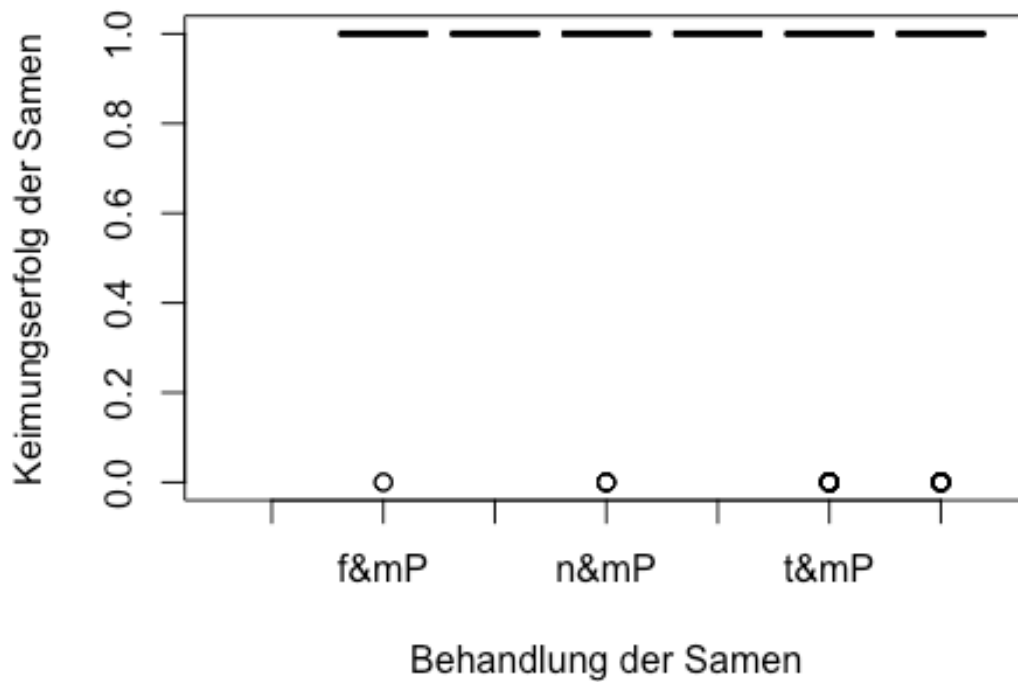
```
density.default(x = exp2$Gekeimt, na.rm = T)
```



```
#Boxplot
```

```
boxplot(Gekeimt~Behandlung, data=exp2, ylab="Keimungserfolg der Samen", xlab="Behandlung der Samen", main="Experiment 2: Samenbehandlung und Keimungserfolg")
```

Experiment 2: Samenbehandlung und Keimungserfolg



```
#Shapiro.Test
shapiro.test(exp2$Gekeimt)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: exp2$Gekeimt
## W = 0.21401, p-value < 2.2e-16

#p-Wert: 2.2e-16

#Daten sind nicht normalverteilt: d.h. Zweistichproben t-Test, ANOVA und G
LM können nicht durchgeführt werden
#Alternativen: Kruskal-Wallis Test, Mann Whitney Test, Chi-square Test

#####

####Statistische Tests
#Signifikanzniveau:  $\alpha=0.05$ 

#####

##Keimfähigkeit

#####
```



```

#Chi-square
chisq.test(exp2$Behandlung, exp2$Gekeimt)

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: exp2$Behandlung and exp2$Gekeimt
## X-squared = 42.228, df = 5, p-value = 5.297e-08

#p-Wert: 5.297e-08 -> Behandlung hat einen signifikanten Einfluss auf die
Keimrate

#####

#Kruskal-Wallis Test
kruskal.test(Gekeimt~Behandlung, data=exp2)

##
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data: Gekeimt by Behandlung
## Kruskal-Wallis chi-squared = 42.171, df = 5, p-value = 5.438e-08

#p-Wert: 5.438e-08 -> Behandlung hat einen signifikanten Einfluss auf die
Keimrate
dunnTest(Gekeimt~Behandlung, data=exp2)

## Warning: Some rows deleted from 'x' and 'g' because missing data.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison

## p-values adjusted with the Holm method.

## Comparison Z P.unadj P.adj
## 1 f&mP - f&oP -0.5993003 5.489727e-01 1.000000e+00
## 2 f&mP - n&mP 0.8989504 3.686791e-01 1.000000e+00
## 3 f&oP - n&mP 1.4982507 1.340681e-01 8.044087e-01
## 4 f&mP - n&oP -0.5993003 5.489727e-01 1.000000e+00
## 5 f&oP - n&oP 0.0000000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 6 n&mP - n&oP -1.4982507 1.340681e-01 6.703406e-01
## 7 f&mP - t&mP 4.4947522 6.965101e-06 9.054632e-05
## 8 f&oP - t&mP 5.0940525 3.504897e-07 5.257345e-06
## 9 n&mP - t&mP 3.5958017 3.233940e-04 3.880728e-03
## 10 n&oP - t&mP 5.0940525 3.504897e-07 4.906856e-06
## 11 f&mP - t&oP 2.6968513 6.999852e-03 6.299867e-02
## 12 f&oP - t&oP 3.2961516 9.801911e-04 1.078210e-02
## 13 n&mP - t&oP 1.7979009 7.219272e-02 5.775417e-01
## 14 n&oP - t&oP 3.2961516 9.801911e-04 9.801911e-03
## 15 t&mP - t&oP -1.7979009 7.219272e-02 5.053490e-01

#p-wert feucht mit und ohne Pappus: 1
#p-wert feucht und nass mit Pappus: 1
#p-wert feucht ohne und nass mit Pappus: 0.8044087
#p-wert feucht mit und nass ohne Pappus: 1
#p-wert feucht und nass ohne Pappus: 1
#p-wert nass mit und ohne Pappus: 0.6703406

```

```

#p-wert feucht und trocken mit Pappus: 9.054632e-05 -> signifikant
#p-wert feucht ohne und trocken mit Pappus: 5.257345e-06 -> signifikant
#p-wert nass und trocken mit Pappus: 3.880728e-03 -> signifikant
#p-wert nass ohne und trocken mit Pappus: 4.906856e-06 -> signifikant
#p-wert feucht mit und trocken ohne Pappus: 0.06299867
#p-wert feucht und trocken ohne Pappus: 0.0107821 -> signifikant
#p-wert nass mit und trocken ohne Pappus: 0.5775417
#p-wert nass und trocken ohne Pappus: 0.009801911 -> signifikant
#p-wert trocken mit und ohne Pappus: 0.505349

#####

##Schwimmfähigkeit

#####

#Chi-square
chisq.test(exp2$Behandlung, exp2$Schwimmend.60.min)

## Warning in chisq.test(exp2$Behandlung, exp2$Schwimmend.60.min): Chi-squ
ared
## approximation may be incorrect

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: exp2$Behandlung and exp2$Schwimmend.60.min
## X-squared = 92.213, df = 5, p-value < 2.2e-16

#p-Wert: 2.2e-16 -> Behandlung hat einen signifikanten Einfluss auf die Sc
hwimmfähigkeit

#####

#Kruskal-Wallis Test
kruskal.test(Schwimmend.60.min~Behandlung, data=exp2)

##
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data: Schwimmend.60.min by Behandlung
## Kruskal-Wallis chi-squared = 92.09, df = 5, p-value < 2.2e-16

#p-Wert: 2.2e-16 -> Behandlung hat einen signifikanten Einfluss auf die Sc
hwimmfähigkeit
dunnTest(Schwimmend.60.min~Behandlung, data=exp2)

## Warning: Some rows deleted from 'x' and 'g' because missing data.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
## p-values adjusted with the Holm method.

## Comparison Z P.unadj P.adj
## 1 f&mP - f&oP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 2 f&mP - n&mP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00

```

```

## 3 f&oP - n&mP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 4 f&mP - n&oP 7.43331 1.059132e-13 1.588699e-12
## 5 f&oP - n&oP 7.43331 1.059132e-13 1.482785e-12
## 6 n&mP - n&oP 7.43331 1.059132e-13 1.376872e-12
## 7 f&mP - t&mP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 8 f&oP - t&mP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 9 n&mP - t&mP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 10 n&oP - t&mP -7.43331 1.059132e-13 1.270959e-12
## 11 f&mP - t&oP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 12 f&oP - t&oP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 13 n&mP - t&oP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 14 n&oP - t&oP -7.43331 1.059132e-13 1.165046e-12
## 15 t&mP - t&oP 0.00000 1.000000e+00 1.000000e+00

```

```

#p-wert feucht mit und ohne Pappus: 1
#p-wert feucht mit und nass mit Pappus: 1
#p-wert feucht ohne und nass mit Pappus: 1
#p-wert feucht mit und nass ohne Pappus: 1.588699e-12 -> signifikant
#p-wert feucht ohne und nass ohne Pappus: 1.482785e-12 -> signifikant
#p-wert nass mit und ohne Pappus: 1.376872e-12 -> signifikant
#p-wert feucht und trocken mit Pappus: 1
#p-wert feucht ohne und trocken mit Pappus: 1
#p-wert nass und trocken mit Pappus: 1
#p-wert nass ohne und trocken mit Pappus: 1.270959e-12 -> signifikant
#p-wert feucht mit und trocken ohne Pappus: 1
#p-wert feucht und trocken ohne Pappus: 1
#p-wert nass mit und trocken ohne Pappus: 1
#p-wert nass und trocken ohne Pappus: 1.165046e-12 -> signifikant
#p-wert trocken mit und ohne Pappus: 1

```

```
#####
```

```
##Vergleich zwischen Tagen der Datenerhebung
```

```
#####
```

```
##Chi-square
```

```
chisq.test(exp2$Datum, exp2$Gekeimt)
```

```
##
```

```
## Pearson's Chi-squared test
```

```
##
```

```
## data: exp2$Datum and exp2$Gekeimt
```

```
## X-squared = 55.07, df = 2, p-value = 1.101e-12
```

```
#p-Wert: 1.101e-12 -> signifikanter Zusammenhang
```

```
#####
```

```
##Kruskal-Wallis-Test
```

```
kruskal.test(Gekeimt~Datum, data=exp2)
```

```
##
```

```
## Kruskal-Wallis rank sum test
```

```
##
## data: Gekeimt by Datum
## Kruskal-Wallis chi-squared = 54.997, df = 2, p-value = 1.142e-12
## p-Wert: 1.142e-12 -> signifikanter Zusammenhang
exp2$Datum <- factor(exp2$Datum)
dunnTest(Gekeimt~Datum, data=exp2)

## Warning: Some rows deleted from 'x' and 'g' because missing data.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
## p-values adjusted with the Holm method.

## Comparison Z P.unadj P.adj
## 1 11.7 - 12.7 0.000000 1.000000e+00 1.000000e+00
## 2 11.7 - 18.7 5.527532 3.247665e-08 6.495330e-08
## 3 12.7 - 18.7 6.769817 1.289456e-11 3.868367e-11

## p-Wert 11.7 und 12.7: 1
## p-Wert 11.7 und 18.7: 3.247665e-08 -> signifikant
## p-Wert 12.7 und 18.7: 1.289456e-11 -> signifikant

#####
```

9.2.3. Experiment 3

Exp3.R

mirjamschibler

Fri Feb 28 11:32:45 2020

```
# Arbeitspfad setzen
setwd("~/Documents/ETH/Bachelorstudium/ETH 6. Semester/Bachelor Arbeit/Statistische Auswertung/Einzelne Daten")

#Datensatz Laden
exp3 <- read.table("Exp. 3.csv", sep=",", header=T)
str(exp3)

## 'data.frame': 419 obs. of 9 variables:
## $ Datum : num 6.8 6.8 6.8 6.8 6.8 6.8 6.8 6.8 6.8 6.8 ...
## $ Absturzhöhe : int 70 70 70 70 70 70 70 70 70 70 ...
## $ Pappus : Factor w/ 3 levels "", "mit Pappus", ...: 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ...
## $ Behandlung : Factor w/ 5 levels "", "100 cm mit Pappus", ...: 4 4 4 4 4 4 4 4 ...
## $ Gekeimt : int 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Nicht.gekeimt : int 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...
## $ Schwimmend : int 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
## $ Nicht.schwimmend: int 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ...
## $ Total : int 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
```

```

exp3$Datum <- factor(exp3$Datum)

#####

####Darstellung in Plots

###Keimfähigkeit

#####

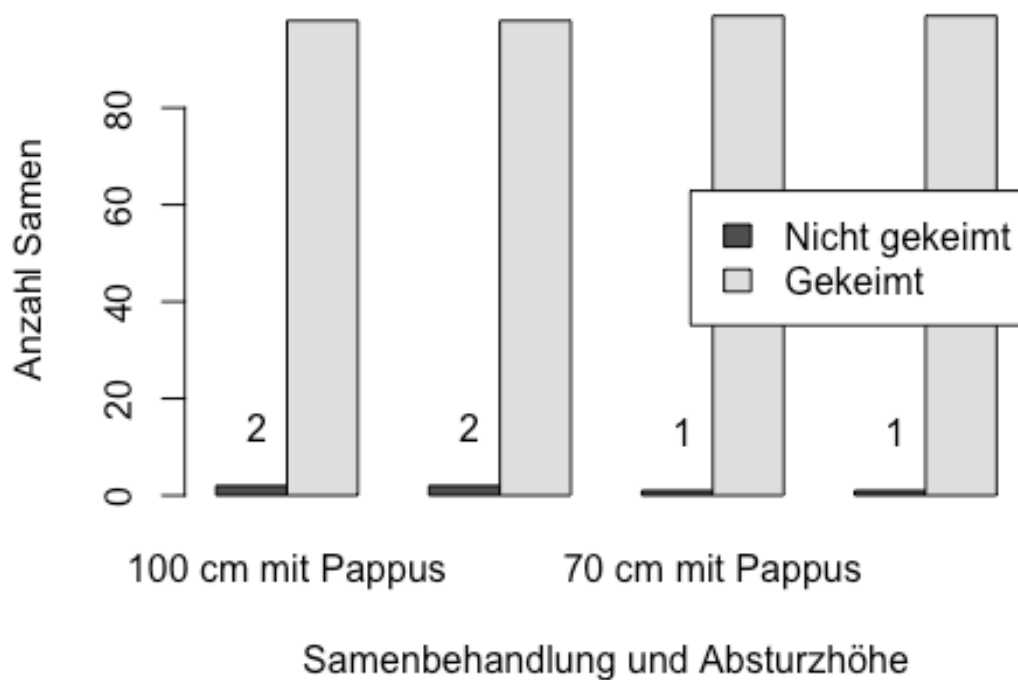
##Gesamter Datensatz
tab.3.1 <- table(exp3$Gekeimt, exp3$Behandlung)
tab.3.1 <- tab.3.1[,-1]
tab.3.1

##
##      100 cm mit Pappus 100 cm ohne Pappus 70 cm mit Pappus
##  0           2           2           1
##  1           98          98           99
##
##      70 cm ohne Pappus
##  0           1
##  1           99

bp.3.1 <- barplot(tab.3.1, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Sam
enbehandlung und Absturzhöhe", ylab="Anzahl Samen", main="Samenbehandlung
sowie Absturzhöhe und Keimfähigkeit")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gr
ay87"))
text(x=bp.3.1, y=tab.3.1, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.1, di
gits=2), nsmall=0))

```

Samenbehandlung sowie Absturzhöhe und Keimfähigkeit

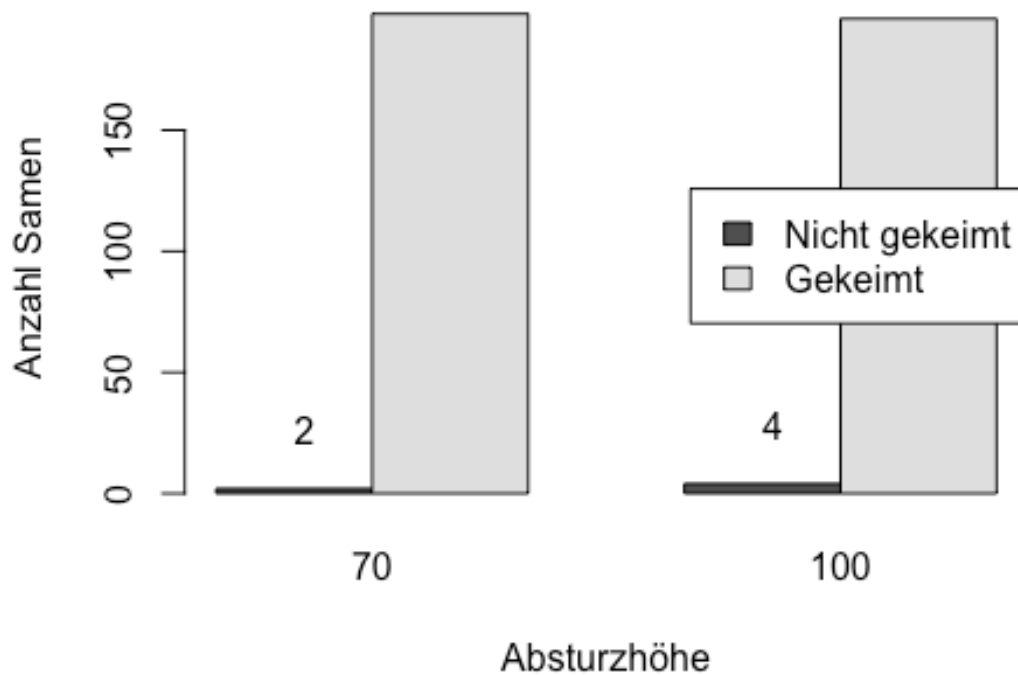


```
##Absturzhöhe
tab.3.2 <- table(exp3$Gekeimt, exp3$Absturzhöhe)
tab.3.2

##
##      70 100
##  0    2   4
##  1 198 196

bp.3.2 <- barplot(tab.3.2, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Absturzhöhe", ylab="Anzahl Samen", main="Absturzhöhe und Keimfähigkeit")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gray87"))
text(x=bp.3.2, y=tab.3.2, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.2, digits=2), nsmall=0))
```

Absturzhöhe und Keimfähigkeit

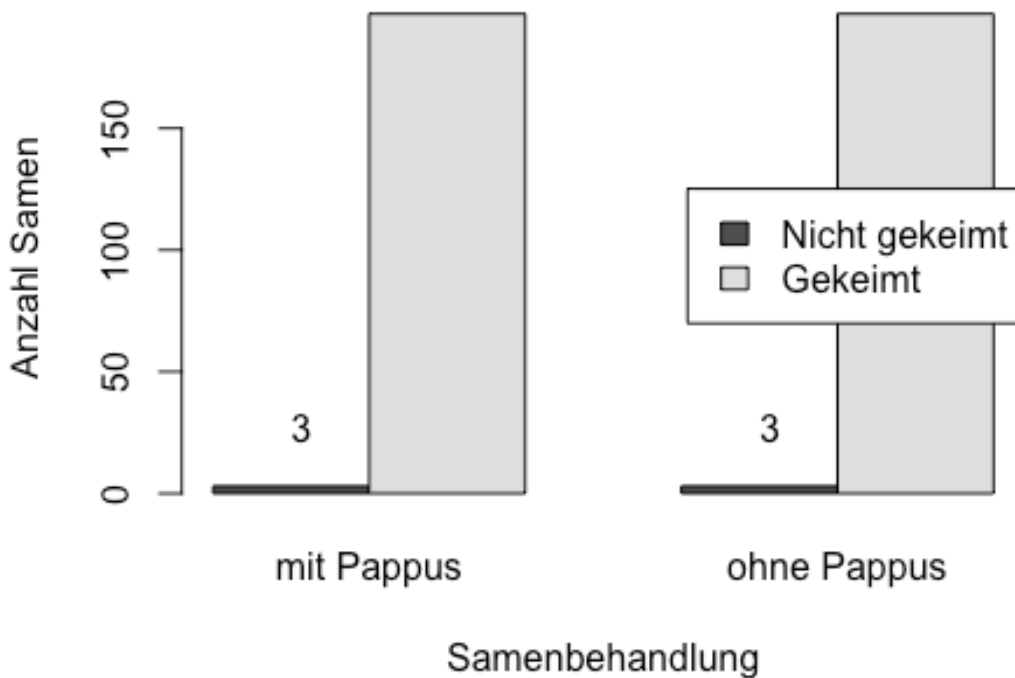


```
##Samenbehandlung
tab.3.3 <- table(exp3$Gekeimt, exp3$Pappus)
tab.3.3 <- tab.3.3[,-1]
tab.3.3

##
##      mit Pappus ohne Pappus
##  0         3         3
##  1        197        197

bp.3.3 <- barplot(tab.3.3, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Samenbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Samenbehandlung und Keimfähigkeit")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gray87"))
text(x=bp.3.3, y=tab.3.3, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.3, digits=2), nsmall=0))
```

Samenbehandlung und Keimfähigkeit

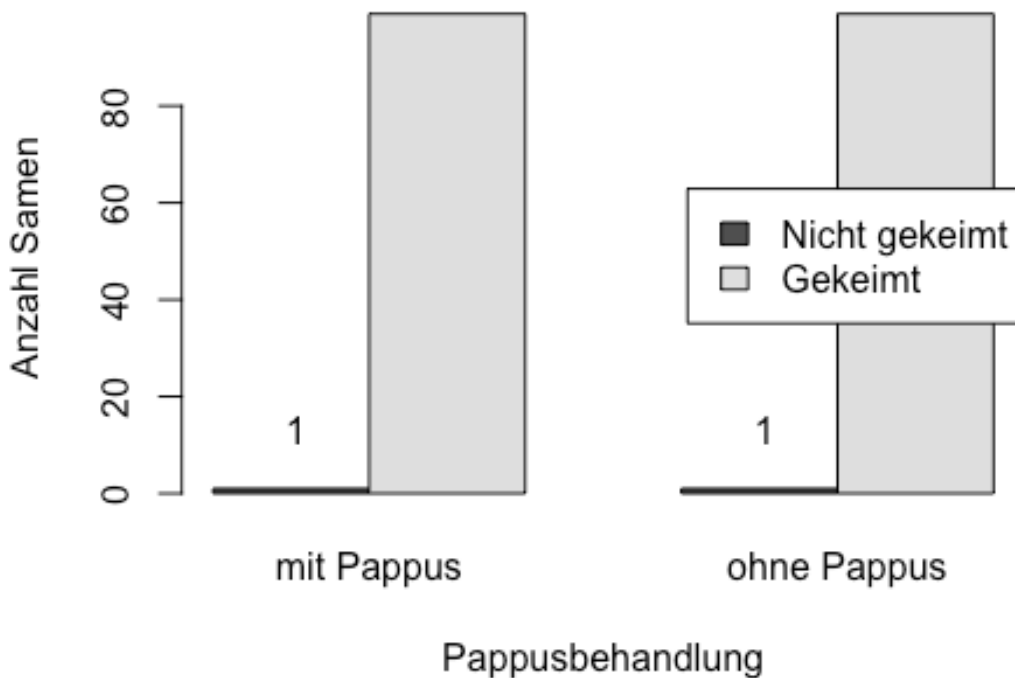


```
#####
###Absturzhöhe
##70 cm
tab.3.4 <- table(exp3$Gekeimt[exp3$Absturzhöhe==70], exp3$Pappus[exp3$Absturzhöhe==70])
tab.3.4 <- tab.3.4[,-1]
tab.3.4

##
##      mit Pappus ohne Pappus
##  0         1         1
##  1         99         99

bp.3.4 <- barplot(tab.3.4, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Pappusbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Pappusbehandlung und Keimfähigkeit aus 70 cm Absturzhöhe")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gray87"))
text(x=bp.3.4, y=tab.3.4, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.4, digits=2), nsmall=0))
```


Pappusbehandlung und Keimfähigkeit aus 70 cm Absturzhöhe

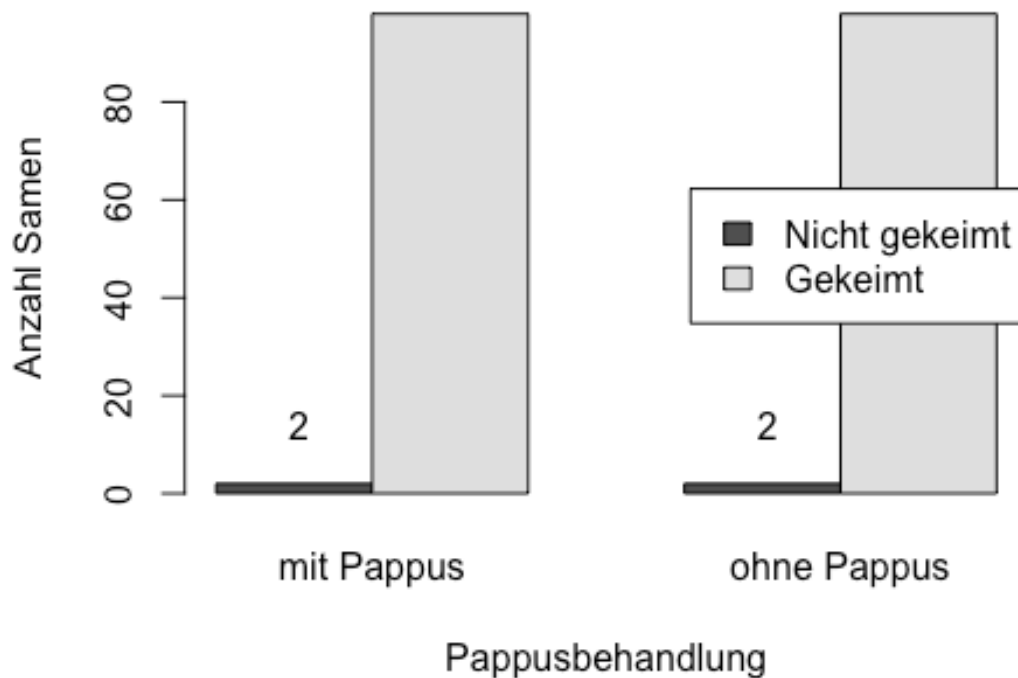


```
##100 cm
tab.3.5 <- table(exp3$Gekeimt[exp3$Absturzhöhe==100], exp3$Pappus[exp3$Absturzhöhe==100])
tab.3.5 <- tab.3.5[, -1]
tab.3.5

##
##      mit Pappus ohne Pappus
##  0           2           2
##  1          98          98

bp.3.5 <- barplot(tab.3.5, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Pappusbehandlung", ylab="Anzahl Samen", main="Pappusbehandlung und Keimfähigkeit aus 100 cm Absturzhöhe")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gray87"))
text(x=bp.3.5, y=tab.3.5, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.5, digits=2), nsmall=0))
```

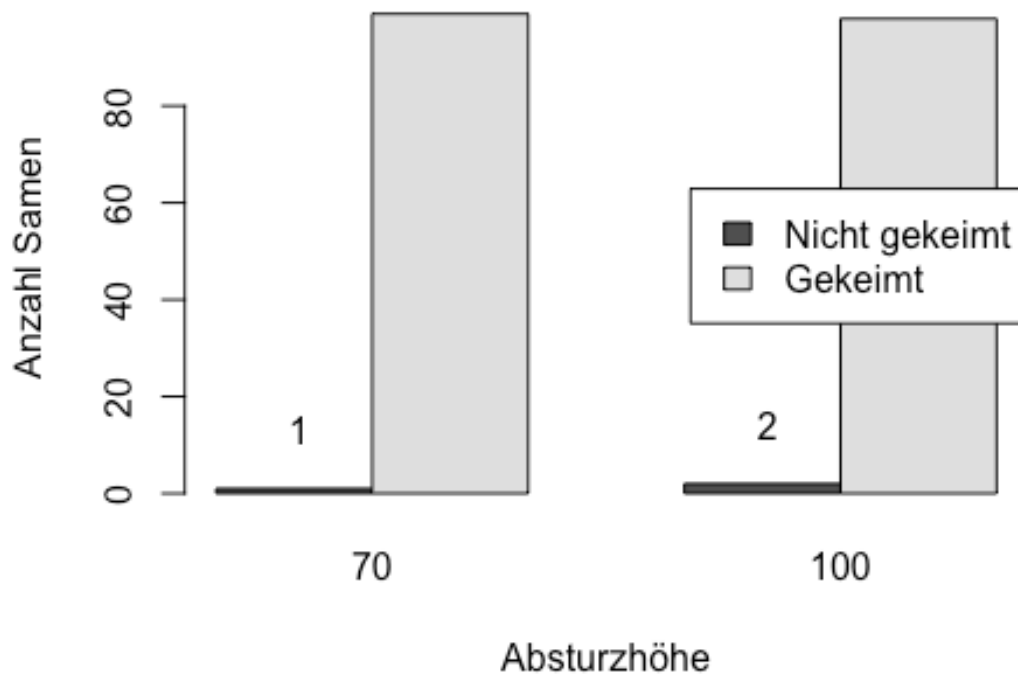
Pappusbehandlung und Keimfähigkeit aus 100 cm Abst



```
#####
###Pappusbehandlung
##Ohne Pappus
tab.3.6 <- table(exp3$Gekeimt[exp3$Pappus=="ohne Pappus"], exp3$Absturzhöhe[exp3$Pappus=="ohne Pappus"])
tab.3.6
##
##      70 100
##    0  1  2
##    1 99 98

bp.3.6 <- barplot(tab.3.6, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Absturzhöhe", ylab="Anzahl Samen", main="Absturzhöhe und Keimfähigkeit von Samen ohne Pappus")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gray87"))
text(x=bp.3.6, y=tab.3.6, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.6, digits=2), nsmall=0))
```

Absturzhöhe und Keimfähigkeit von Samen ohne Pappus

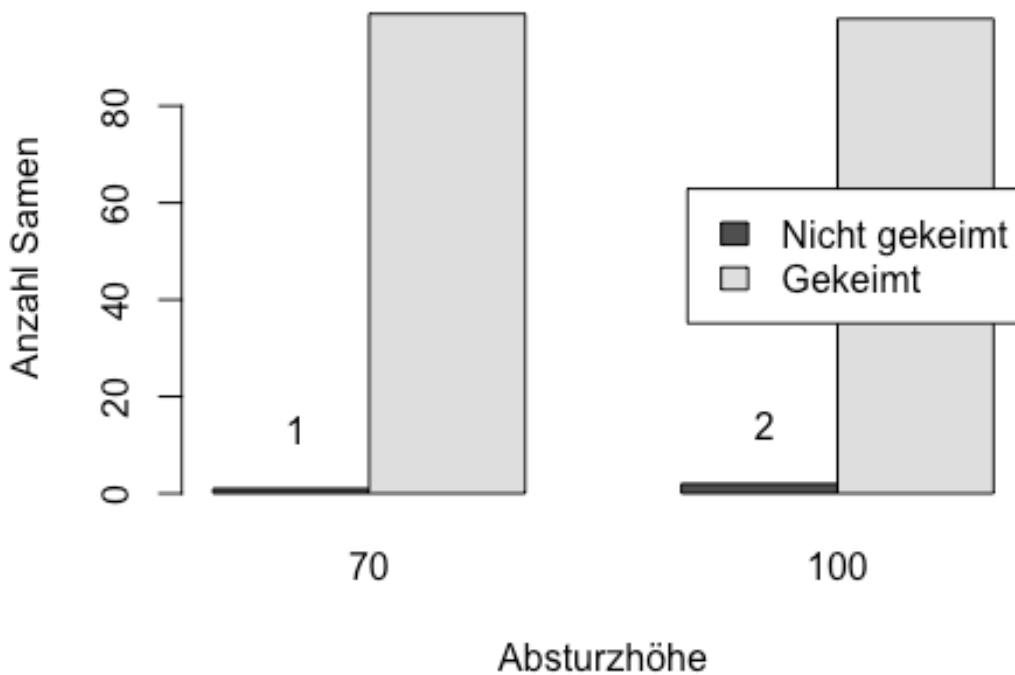


```
##Mit Pappus
tab.3.7 <- table(exp3$Gekeimt[exp3$Pappus=="mit Pappus"], exp3$Absturzhöhe
[exp3$Pappus=="mit Pappus"])
tab.3.7

##
##      70 100
##  0  1  2
##  1 99 98

bp.3.7 <- barplot(tab.3.7, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Abs
turzhöhe", ylab="Anzahl Samen", main="Absturzhöhe und Keimfähigkeit von Sa
men mit Pappus")
legend("right", legend=c("Nicht gekeimt", "Gekeimt"), fill=c("gray31", "gr
ay87"))
text(x=bp.3.7, y=tab.3.7, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.7, di
gits=2), nsmall=0))
```

Absturzhöhe und Keimfähigkeit von Samen mit Pappus



```
#####

###Schwimmfähigkeit

#####

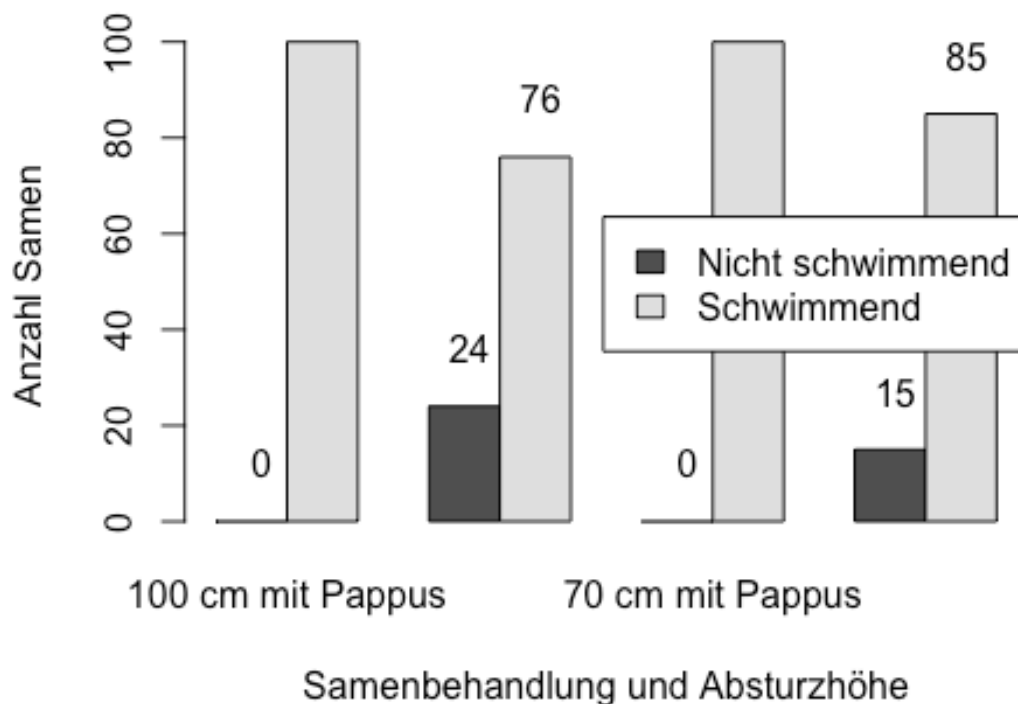
##Gesamter Datensatz
tab.3.8 <- table(exp3$Schwimmend, exp3$Behandlung)
tab.3.8 <- tab.3.8[,-1]
tab.3.8

##
##      100 cm mit Pappus 100 cm ohne Pappus 70 cm mit Pappus
## 0           0           24           0
## 1          100          76          100
##
##      70 cm ohne Pappus
## 0           15
## 1           85

bp.3.8 <- barplot(tab.3.8, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Samenbehandlung und Absturzhöhe", ylab="Anzahl Samen", main="Samenbehandlung sowie Absturzhöhe und Schwimmfähigkeit")
legend("right", legend=c("Nicht schwimmend", "Schwimmend"), fill=c("gray31", "gray87"))
```

```
text(x=bp.3.8, y=tab.3.8, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.8, di
gits=2), nsmall=0))
```

menbehandlung sowie Absturzhöhe und Schwimmfä

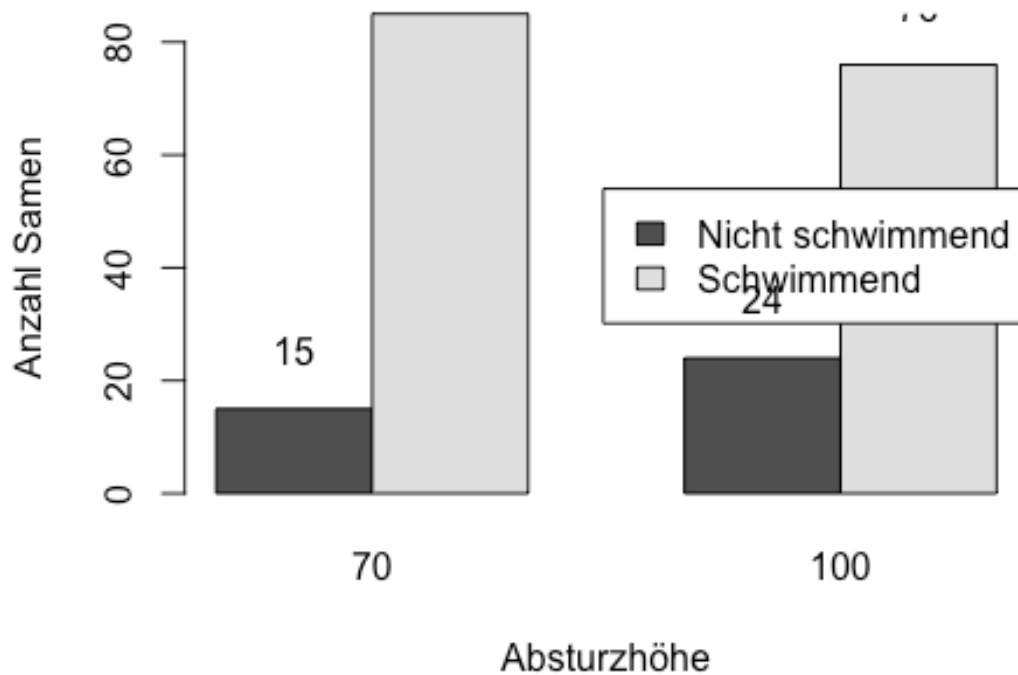


```
##Ohne Pappus
tab.3.9 <- table(exp3$Schwimmend[exp3$Pappus=="ohne Pappus"], exp3$Absturz
höhe[exp3$Pappus=="ohne Pappus"])
tab.3.9

##
##      70 100
##  0 15 24
##  1 85 76

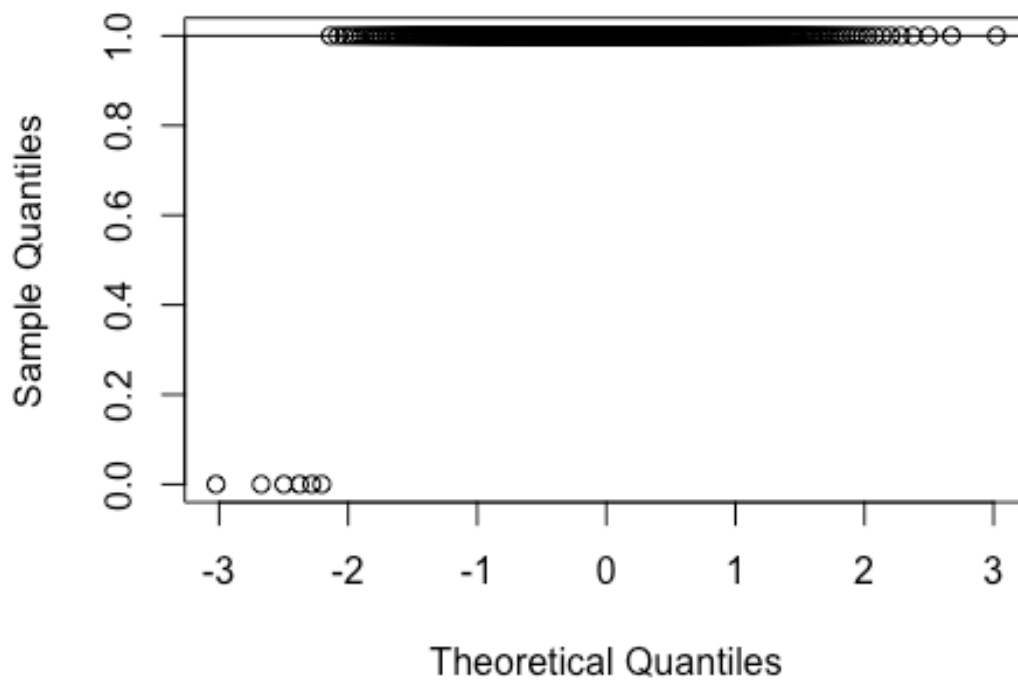
bp.3.9 <- barplot(tab.3.9, beside=T, col=c("gray31", "gray87"), xlab="Abs
turzhöhe", ylab="Anzahl Samen", main="Absturzhöhe und Schwimmfähigkeit von
Samen ohne Pappus")
legend("right", legend=c("Nicht schwimmend", "Schwimmend"), fill=c("gray31
", "gray87"))
text(x=bp.3.9, y=tab.3.9, pos=3, offset=1, labels=format(round(tab.3.9, di
gits=2), nsmall=0))
```

sturzhöhe und Schwimmfähigkeit von Samen ohne F



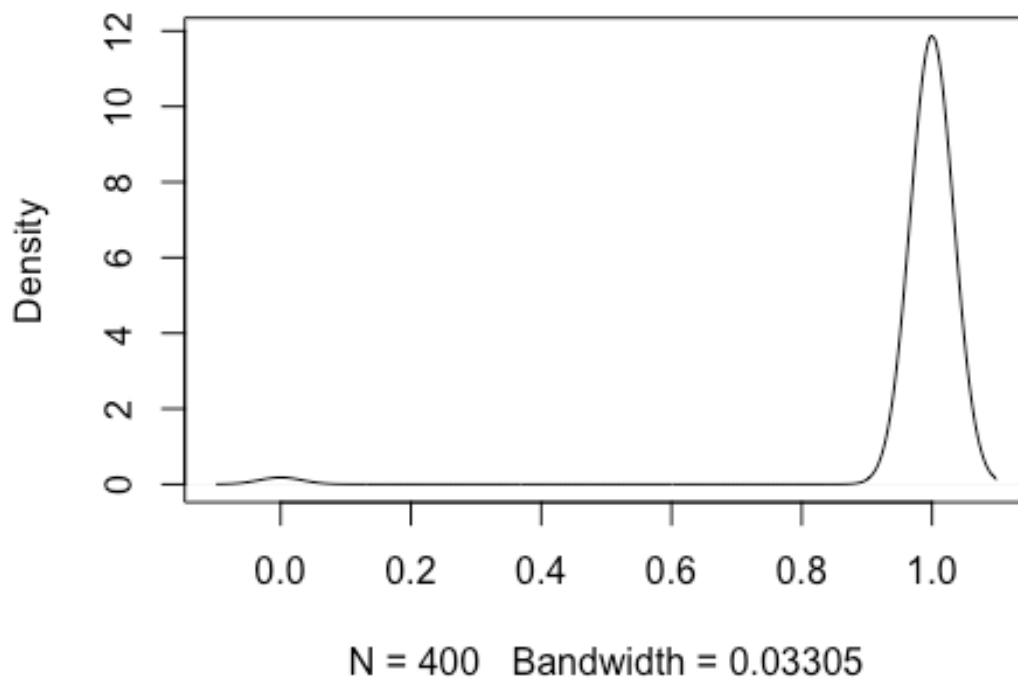
```
#####  
##Test auf Normalverteilung  
library(FSA)#für Dunn's Test  
  
## ## FSA v0.8.25. See citation('FSA') if used in publication.  
## ## Run fishR() for related website and fishR('IFAR') for related book.  
  
#QQ-Plot  
qqnorm(exp3$Gekeimt, main="Experiment 3: Normal Q-Q Plot")  
qqline(exp3$Gekeimt)
```

Experiment 3: Normal Q-Q Plot



```
#Dichtefunktion  
d.exp3 <- density(exp3$Gekeimt, na.rm=T)  
plot(d.exp3)
```

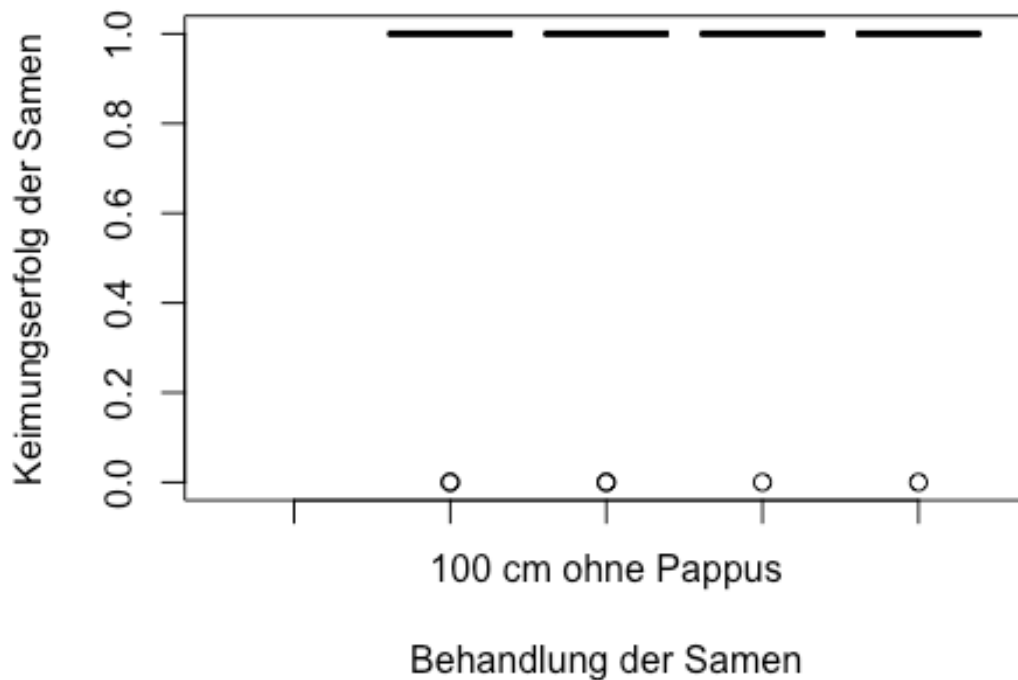
```
density.default(x = exp3$Gekeimt, na.rm = T)
```



```
#Boxplot
```

```
boxplot(Gekeimt~Behandlung, data=exp3, ylab="Keimungserfolg der Samen", xlab="Behandlung der Samen", main="Experiment 3: Samenbehandlung und Keimungserfolg")
```


Experiment 3: Samenbehandlung und Keimungserfolg



```
#Shapiro.Test
shapiro.test(exp3$Gekeimt)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: exp3$Gekeimt
## W = 0.097506, p-value < 2.2e-16

#p-Wert: 2.2e-16

#Daten sind nicht normalverteilt: d.h. Zweistichproben t-Test, ANOVA und G
LM können nicht durchgeführt werden
#Alternativen: Kruskal-Wallis Test, Mann Whitney Test, Chi-square Test

#####

####Statistische Auswertung

###Test der Keimfähigkeit

#####

##Chi-square
chisq.test(exp3$Behandlung, exp3$Gekeimt)

## Warning in chisq.test(exp3$Behandlung, exp3$Gekeimt): Chi-squared
## approximation may be incorrect
```

```

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data:  exp3$Behandlung and exp3$Gekeimt
## X-squared = 0.67682, df = 3, p-value = 0.8786

#p-Wert: 0.8786 -> kein signifikanter Zusammenhang: keine Verwerfung der Nullhypothese

#####

##Kruskal-Wallis-Test
kruskal.test(Gekeimt~Behandlung, data=exp3)

##
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data:  Gekeimt by Behandlung
## Kruskal-Wallis chi-squared = 0.67513, df = 3, p-value = 0.879

#p-Wert: 0.879 -> kein signifikanter Zusammenhang: keine Verwerfung der Nullhypothese
dunnTest(Gekeimt~Behandlung, data=exp3)

## Warning: Some rows deleted from 'x' and 'g' because missing data.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison

## p-values adjusted with the Holm method.

##
## Comparison Z P.unadj P.adj
## 1 100 cm mit Pappus - 100 cm ohne Pappus 0.0000000 1.000000 1
## 2 100 cm mit Pappus - 70 cm mit Pappus -0.5810021 0.561239 1
## 3 100 cm ohne Pappus - 70 cm mit Pappus -0.5810021 0.561239 1
## 4 100 cm mit Pappus - 70 cm ohne Pappus -0.5810021 0.561239 1
## 5 100 cm ohne Pappus - 70 cm ohne Pappus -0.5810021 0.561239 1
## 6 70 cm mit Pappus - 70 cm ohne Pappus 0.0000000 1.000000 1

#p-Wert 100 cm mit und ohne Pappus: 1
#p-Wert 100 cm und 70 cm mit Pappus: 0.561
#p-Wert 100 cm ohne Pappus und 70 cm mit Pappus: 0.561
#p-Wert 100 cm mit Pappus und 70 cm ohne Pappus: 0.561
#p-Wert 100 cm und 70 cm ohne Pappus: 0.561
#p-Wert 70 cm mit und ohne Pappus: 1

#####

###Test der Schwimmfähigkeit

#####

##Chi-square
chisq.test(exp3$Behandlung, exp3$Schwimmend)

##
## Pearson's Chi-squared test

```

```

##
## data:  exp3$Behandlung and exp3$Schwimmend
## X-squared = 47.816, df = 3, p-value = 2.331e-10
#p-Wert: 2.331e-10 -> signifikanter Zusammenhang: Verwerfung der Nullhypotese

#####

##Kruskal-Wallis-Test
kruskal.test(Schwimmend~Behandlung, data=exp3)

##
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data:  Schwimmend by Behandlung
## Kruskal-Wallis chi-squared = 47.696, df = 3, p-value = 2.471e-10
#p-Wert: 2.471e-10 -> signifikanter Zusammenhang: Verwerfung der Nullhypotese
dunnTest(Schwimmend~Behandlung, data=exp3)

## Warning: Some rows deleted from 'x' and 'g' because missing data.
## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
## p-values adjusted with the Holm method.

##
## Comparison Z P.unadj
## 1 100 cm mit Pappus - 100 cm ohne Pappus 5.713823 1.104659e-08
## 2 100 cm mit Pappus - 70 cm mit Pappus 0.000000 1.000000e+00
## 3 100 cm ohne Pappus - 70 cm mit Pappus -5.713823 1.104659e-08
## 4 100 cm mit Pappus - 70 cm ohne Pappus 3.571139 3.554317e-04
## 5 100 cm ohne Pappus - 70 cm ohne Pappus -2.142684 3.213851e-02
## 6 70 cm mit Pappus - 70 cm ohne Pappus 3.571139 3.554317e-04
## P.adj
## 1 6.627954e-08
## 2 1.000000e+00
## 3 5.523295e-08
## 4 1.421727e-03
## 5 6.427702e-02
## 6 1.066295e-03

#p-Wert 100 cm mit und ohne Pappus: 6.627954e-08 -> signifikant
#p-Wert 100 cm und 70 cm mit Pappus: 1
#p-Wert 100 cm ohne und 70 cm mit Pappus: 5.523295e-08 -> signifikant
#p-Wert 100 cm mit und 70 cm ohne Pappus: 1.421727e-03 -> signifikant
#p-Wert 100 cm und 70 cm ohne Pappus: 0.06427702
#p-Wert 70 cm mit und ohne Pappus: 1.066295e-03 -> signifikant

#####

#####

```

```

##Vergleich zwischen Tagen der Datenerhebung

#####

##Chi-square
chisq.test(exp3$Datum, exp3$Gekeimt)

## Warning in chisq.test(exp3$Datum, exp3$Gekeimt): Chi-squared approximat
ion
## may be incorrect

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data:  exp3$Datum and exp3$Gekeimt
## X-squared = 0, df = 1, p-value = 1

#p-Wert: 1 -> kein signifikanter Unterschied

#####

##Kruskal-Wallis Test
kruskal.test(Gekeimt~Datum, data=exp3)

##
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data:  Gekeimt by Datum
## Kruskal-Wallis chi-squared = 0, df = 1, p-value = 1

#p-Wert (6.8 und 7.8): 1 -> kein signifikanter Zusammenhang

#####

```

9.3. Eigenständigkeitserklärung



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Auswirkungen von Wasseraufenthalt und Abstürze der Samen der Myricaria germanica
--

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Schibler

Vorname(n):

Mirjam

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:


- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Zürich, 29.02.2020

Unterschrift(en)



Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.