

Masterarbeit

Invasives Potential von *Typha laxmannii* und Vergleich mit heimischen Rohrkolben-Arten



Eingereicht von Patrick Hacker, BSc an der
Universität für Bodenkultur – Institut für Botanik, Wien

Betreuer:
Univ. Prof. Dr. Karl-Georg Bernhardt
Dr.rer.nat Leonid Rasran

26.05.2019

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Quellen verwendet habe und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Wien, am

Danksagung

Bedanken möchte ich mich in erster Linie bei meinen Betreuern, Univ. Prof. Dr. Karl-Georg Bernhardt und insbesondere Dr. Leonid Rasran, für die Unterstützung bei den Versuchen, die Erklärungen zur statistischen Auswertung und die Tipps während des Schreibens der Arbeit.

Mein Dank gilt außerdem auch den anderen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Botanik, die mir bei der Durchführung der Versuche geholfen haben, allen voran Roman Tumpold und Gerhard Wagner. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei den Gärtnern der BOKU für die Betreuung des Wachstumsversuchs.

Abschließend möchte ich mich auch bei meiner Mutter, meinem Vater und meiner Schwester bedanken, ohne deren Unterstützung das Studium nicht möglich gewesen wäre.

Zusammenfassung

Typha laxmannii, der Laxmann-Rohkolben, gilt in Mitteleuropa als Neophyt und breitet sich auch in Österreich seit einigen Jahrzehnten aus. Potenziell könnte er eine Bedrohung für heimische Arten darstellen. Der Fokus dieser Arbeit bestand darin, Daten zu dieser bisher relativ wenig erforschten Art zu sammeln, einen Vergleich mit den heimischen Arten *Typha latifolia* und *Typha angustifolia* zu ziehen und das invasive Potential zu beurteilen. Dazu wurden die Diasporen vermessen und gewogen sowie drei Keim- und ein Wachstumsversuch durchgeführt. Die Sammlung der Fruchtstände (Kolben) in mehreren Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld in Niederösterreich ermöglichte zusätzlich einen Vergleich verschiedener Populationen.

Ein Fruchtstand von *Typha laxmannii* enthielt durchschnittlich mehr als 100.000 Diasporen, die vergleichsweise klein und leicht waren. Trotz ihrer Größe wiesen diese jedoch eine relativ hohe Keimfähigkeit auf. Es kann allerdings nicht davon ausgegangen werden, dass der Neophyt wesentliche Vorteile in Bezug auf die Möglichkeit der Besiedlung neuer Standorte hat. Der Wachstumsversuch hat gezeigt, dass *Typha laxmannii* eine Strategie der schnellen Ausbreitung verfolgt. Die Art bildete über Rhizomausläufer deutlich mehr Nebensprosse als die heimischen Konkurrenten, blieb aber auch kleiner als diese und produzierte in Summe weniger Biomasse. Zwischen den untersuchten Populationen ergaben sich zum Teil signifikante Unterschiede.

Die Versuche sowie Beobachtungen im Freiland haben gezeigt, dass *Typha laxmannii* grundsätzlich weniger konkurrenzstark als *Typha latifolia* und *Typha angustifolia* ist und an ständig nassen Stellen von diesen verdrängt wird. Die Art ist daher auf Standorte angewiesen, an denen die heimischen Arten nicht vorkommen, wie beispielsweise sekundäre Gewässer, die zeitweise trockenfallen. Für natürliche Gewässern ist das invasive Potential als gering einzustufen, eine weitere Ausbreitung des Neophyten an sekundären oder gestörten Standorten ist allerdings wahrscheinlich.

Abstract

Typha laxmannii, the Laxman's bulrush or cattail, is classified as an alien species in Central Europe and has been spreading in Austria for a few decades. It could potentially pose a threat for native species. The focus of this thesis was to collect data on this little-studied plant species, draw a comparison with the native species *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* and assess the invasive potential. For this purpose, the dimensions and the weight of the diaspores were measured, and experiments on the germination of the seeds as well as the growth of the plants were conducted. The collection of the infructescences in several drainage ponds in Lower Austria also enabled the possibility to compare different populations.

On average, a single infructescence of *Typha laxmannii* contained more than 100,000 diaspores which were comparatively small and lightweight. The germination rate of the seeds was relatively high, despite their small size. Nevertheless, it cannot be assumed that the species has substantial advantages regarding the possibility to colonise new habitats. The experiment on plant growth showed that *Typha laxmannii* pursues a strategy of rapid spread. The species formed considerably more ramets through the rhizomes than the native competitors but stayed smaller and in total produced less biomass. There were significant differences between the probed populations in some areas.

The experiments as well as observations in the field have shown that in general *Typha laxmannii* is competitively weaker than *Typha latifolia* und *Typha angustifolia* and is replaced by them at permanently wet sites. It needs habitats which are not populated by the native species, for example drainage ponds that dry up occasionally. The invasive potential can be considered low for natural habitats but the further spread of the alien species in anthropogenic and disturbed habitats is likely.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Methoden	10
2.1	Morphologische Beschreibung der untersuchten Arten	10
2.2	Sammlung, Lagerung, Zustand und Handhabung der Kolben	10
2.3	Auswahl der Kolben für die Untersuchungen.....	12
2.4	Vermessung der Diasporen.....	12
2.5	Gewicht und Anzahl der Diasporen	16
2.6	Keimversuche	17
2.6.1	Allgemeines	17
2.6.2	Lichtkeimversuch	17
2.6.3	Dunkelkeimversuch 1	19
2.6.4	Dunkelkeimversuch 2.....	20
2.7	Wachstumsversuch.....	21
2.8	Datenauswertung	27
3	Ergebnisse	28
3.1	Maße der Diasporen.....	28
3.2	Gewicht und Anzahl der Diasporen	35
3.3	Ergebnisse der Keimversuche.....	36
3.4	Ergebnisse des Wachstumsversuchs	41
4	Diskussion.....	55
4.1	Methodenkritik.....	55
4.2	Morphologie der Diasporen (Forschungsfrage 1)	56
4.3	Keimfähigkeit der Samen (Forschungsfrage 2).....	59
4.4	Einflussfaktoren auf das Wachstum (Forschungsfrage 3).....	60
4.5	Invasives Potential	62
5	Literaturverzeichnis	63
6	Abbildungsverzeichnis.....	65
7	Tabellenverzeichnis.....	66
8	Anhang (Rohdaten).....	67

1 Einleitung

Das natürliche Verbreitungsgebiet von *Typha laxmannii* Lepech. umfasst große Teile Asiens und erstreckt sich im Osten bis Japan und im Westen bis Ost- bzw. Südeuropa (Müller-Doblies & Müller-Doblies, 1980; Govaerts, 2019). In Europa ist die Art in Albanien, der Ukraine (Govaerts, 2019), Bulgarien, Rumänien, Griechenland und dem europäischen Teil Russlands (Cook, 1980) heimisch. Durch die Einschleppung im Zuge des Reisanbaus (Müller-Doblies & Müller-Doblies, 1980) und als Zierpflanze bei der künstlichen Anlage von Gewässern (Melzer, 1991; Fischer et al., 2008; Bernhardt et al., 2017) wurde die Art nach Mitteleuropa gebracht. Auch eine Ausbreitung durch Wasservögel ist möglich (Fiala & Jankovská, 1968). Als Neophyt gilt *T. laxmannii* unter anderem in Deutschland, Frankreich, Spanien, Polen, Ungarn, der Schweiz und der Slowakei (DAISIE, 2019). Funde wurden ebenfalls aus Kroatien (Topić & Ozimec, 2001), Tschechien (Čvančara & Šourková, 1973), Großbritannien (Sell & Murrell, 1996) und Belgien (Verloove, 2015) gemeldet. Cook (1980) gibt außerdem noch Vorkommen als Neophyten in Ungarn und Italien an, wobei die Art in Teilen Italiens möglicherweise auch heimisch sein könnte.

In Österreich wird *T. laxmannii* ebenfalls als Neophyt eingestuft (Melzer, 1991; Essl & Rabitsch, 2002; Fischer et al., 2008). Die ersten Funde stammten aus Wien, Niederösterreich und dem Burgenland, wobei damals aufgrund künstlicher Anpflanzungen sowie der sehr guten Flugfähigkeit der Früchte eine weitere Ausbreitung erwartet wurde (Melzer, 1991). Mittlerweile wurden Vorkommen der Art auch in Vorarlberg (Polatschek, 2001), Oberösterreich (Kleesadl, 2009), Kärnten (Ciotir et al., 2017) und der Steiermark (Obermayer, 2018) beschrieben.

T. laxmannii besiedelt in Mitteleuropa hauptsächlich sekundäre und künstlich angelegte Gewässer, wie beispielsweise Tümpel, Teiche, Gräben, Drainagegewässer und Gewässer in Sand- und Schottergruben sowie Steinbrüchen (vgl. Melzer, 1991; Melzer & Barta, 1993; Topić & Ozimec, 2001; Baryla et al., 2005; Fischer et al., 2008; Parolly & Rohwer, 2016; Bernhardt et al., 2017). Die Art wächst dabei vor allem an trockeneren Stellen, bei denen der Boden nicht ständig wassergesättigt ist. Dadurch entgeht sie der Konkurrenz durch die heimischen Arten *T. latifolia* L. und *T. angustifolia* L., die eine größere Wuchshöhe erreichen, aber Standorte mit einem höheren Wasserstand benötigen. An solchen wird der Pionierbesiedler *T. laxmannii* von den höherwüchsigen *Typha*-Arten beschattet und schließlich verdrängt (Bernhardt et al., 2017).

Abbildung 1 zeigt eine Population von *T. laxmannii* in einem Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld in Niederösterreich.



Abbildung 1: Population von *Typha laxmannii* in einem Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld (20. August 2018).

An geeigneten Standorten kann sich *T. laxmannii* relativ schnell ausbreiten, indem sich die Pflanzen über Rhizome vegetativ vermehren (Bernhardt et al., 2017). Melzer (1991) und Melzer & Barta (1999) berichten über ein starkes Wachstum einzelner Bestände in Österreich. Nobis et al. (2006) beschreiben 14 Standorte in Polen, an denen diese Art eine eigene Pflanzengesellschaft bildet, das Typhetum laxmannii. *T. laxmannii* dominiert diese Gesellschaft und kann bei optimalen Bedingungen auch große Bestände bilden, die in manchen Fällen nur aus dieser Art bestehen. Am besten geeignet sind dafür die Uferzonen von Wasserreservoirs und nasse Stellen in Entwässerungsgräben und flachen Tümpeln. Die Autoren erwähnen ebenfalls den Pioniercharakter der Art und dass diese überwiegend an Standorten zu finden ist, die stark anthropogen beeinflusst sind, wie Steinbrüche und Sandgruben. Die Bedingungen an diesen Standorten ähneln denen, die im natürlichen Verbreitungsgebiet von *T. laxmannii* zu finden sind. Sie warnen davor, dass sich die Art durch den Effekt des Klimawandels und die Aktivitäten der Bergbauindustrie auch in halbnatürlichen und natürlichen Ökosystemen ausbreiten könnte und dadurch negative Auswirkungen auf die Biodiversität möglich wären. Bisher gibt es jedoch weder in Polen (Baryla et al., 2005) noch in Österreich (Bernhardt & Wernisch, 2016) Hinweise auf die Besiedlung von natürlichen Gewässern.

In Bezug auf die Ausbreitungsfähigkeit und das mögliche invasive Potential von *T. laxmannii* wurden drei Forschungsfragen (F) und dazugehörige Hypothesen (H) formuliert, die im Rahmen dieser Arbeit überprüft werden sollten.

F1: Kann sich *T. laxmannii* aufgrund der Morphologie seiner Diasporen rascher ausbreiten und neue Standorte schneller besiedeln als die heimischen Arten *T. latifolia* und *T. angustifolia*?

H1: Die Diasporen von *T. laxmannii* sind leichter als die der Konkurrenten und daher ist die Ausbreitung durch den Wind über größere Distanzen möglich.

F2: Unterscheiden sich die drei untersuchten *Typha*-Arten in der Keimfähigkeit ihrer Samen?

H2: Die Samen von *T. laxmannii* weisen eine höhere Keimfähigkeit auf, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit erhöht, neue Standorte zu besiedeln.

F3: Lässt sich die Dominanz von *T. laxmannii* an einzelnen Standorten durch bestimmte Wachstumsbedingungen erklären?

H3: Es gibt Standortbedingungen, bei denen *T. laxmannii* Vorteile gegenüber *T. latifolia* und *T. angustifolia* hat und diese heimischen Arten verdrängen kann.

Es wurden verschiedene Versuche durchgeführt, um die Forschungsfragen zu beantworten und die Konkurrenzfähigkeit von *T. laxmannii* gegenüber den heimischen Arten besser einschätzen zu können. Es sollte einerseits die Keimfähigkeit der Samen und andererseits das Wachstum bei unterschiedlichen Wachstumsbedingungen getestet werden. Zusätzlich wurden die Diasporen vermessen, gewogen und deren Anzahl pro Kolben ermittelt. Verglichen wurden dazu Individuen von *T. laxmannii* mit jenen von *T. latifolia* und *T. angustifolia*. Der Hybrid zwischen diesen beiden Arten, *T. x glauca* Godr., der in Österreich gemeinsam mit den anderen Arten vorkommt (Bernhardt et al., 2017), wurde nicht untersucht, ebenso wie *T. minima* Funck und *T. shuttleworthii* W. D. J. Koch & Sond., die in Österreich selten sind (Fischer et al., 2008).

Die Erkenntnisse der Versuche sollten Hinweise auf die Ausbreitungsfähigkeit und das invasive Potential von *T. laxmannii* liefern. Die Fragestellung bestand darin, wie sich die Ausbreitung der Art erklären lässt und ob sie bei bestimmten Bedingungen eine Gefahr für die heimischen Arten darstellen kann. Zusätzlich sollten die Ergebnisse dieser Arbeit auch den Erkenntnisstand zu dieser Art verbessern, da *T. laxmannii* bisher nur unzureichend untersucht wurde. Für die heimischen Arten *T. latifolia* und *T. angustifolia* liegen mehr Daten vor.

2 Methoden

2.1 Morphologische Beschreibung der untersuchten Arten

Typha laxmannii, der Laxmann-Rohrkolben, ist eine einhäusige, windbestäubte Sumpfpflanze aus der Familie der Typhaceen. Die Blütenstände sind dichtblütige Ähren und werden auch als Kolben bezeichnet. Der männliche Kolben befindet sich oberhalb des weiblichen und ist (1,3-) 1,5-2,5 (-4) mal so lang wie dieser. Die Laubblätter sind zweizeilig angeordnet und die Frucht ist eine einsamige Nuss (Fischer et al., 2008).

Die Sprossachse mit den Blütenständen wird (60-) 80-130 (-210) cm hoch, sie wird etwas von den sechs bis sieben Laubblättern überragt, deren Spreiten eine Breite von 2-4 (-7) mm aufweisen. Der weibliche Kolben ist (2-) 3-5 (-13) cm lang und während des Aufblühens beträgt dessen Durchmesser nur 4 mm, zur Reifezeit allerdings 20-25 mm. Der männliche Kolben ist (5,5-) 8-10 (-18) cm lang und der Durchmesser beträgt im blühenden Zustand 8-10 mm. Am unteren Ende des Fruchtsiels der weiblichen Blüte befinden sich 35 bis 40 Haare, die in drei bis vier Etagen angeordnet sind. Diese Haare werden zur Fruchtzeit minimal von den Narben überragt (Müller-Doblies & Müller-Doblies, 1980).

Die zwei wichtigsten heimischen Arten der Gattung *Typha* sind *T. latifolia* und *T. angustifolia*. Sowohl *T. angustifolia* als auch *T. laxmannii* weisen einen Abstand von einigen Zentimetern zwischen dem weiblichen und dem männlichen Kolben auf, bei *T. latifolia* gibt es hingegen keinen Abstand zwischen den zwei Blütenständen. Die beiden erstgenannten Arten lassen sich dadurch unterscheiden, dass bei *T. angustifolia* der männliche Kolben ungefähr so lang und breit wie der weibliche ist, während bei *T. laxmannii* der männliche Kolben deutlich schmaler und wie oben beschrieben deutlich länger als der weibliche ist. Die weiblichen Kolben von *T. laxmannii* sind im Normalfall außerdem wesentlich kürzer als die von *T. angustifolia*. Zusätzlich sind die Laubblätter von *T. angustifolia* mit 3-10 (-14) mm meist etwas breiter und schuppenförmige Deckblätter der weiblichen Blüten kommen nur bei dieser Art und nicht bei *T. laxmannii* vor (Fischer et al., 2008).

2.2 Sammlung, Lagerung, Zustand und Handhabung der Kolben

Die Fruchtstände beziehungsweise Kolben, die für die weiteren Untersuchungen verwendet wurden, stammen aus Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld in Niederösterreich. Diese Gewässer wurden während des Baus der Neuen Westbahn angelegt und befinden sich entlang der Bahnstrecke und teilweise in unmittelbarer Nähe des Bahnhofs Tullnerfeld. Zwei der Regenrückhaltebecken sind auf der Abbildung 2 zu sehen, sie liegen südlich der Bahnstrecke und nördlich der Landesstraße L2090. Der südöstliche Parkplatz des Bahnhofs Tullnerfeld grenzt im Westen direkt an eines der Becken an. Die Gewässer wurden von Plachy

(2017) und Bernhardt et al. (2017) beschrieben. Zum Teil wurden sie von Plachy im Jahr 2016 auch kartiert und die Vegetation erfasst. Die von den genannten Quellen verwendete Nummerierung der Gewässer wurde übernommen.



Abbildung 2: Regenrückhaltebecken in der Nähe des Bahnhofs Tullnerfeld (20. August 2018).

Am 19.10.2017 wurden vom Betreuer dieser Arbeit, Dr. Karl-Georg Bernhardt, insgesamt 75 Kolben von *T. laxmannii* aus mehreren Populationen gesammelt. Diese stammen aus den Gewässern Nr. 9 (20 Kolben), Nr. 24 (25 Kolben) und Nr. 25 (30 Kolben). Von *T. latifolia* und *T. angustifolia* wurden am 12.11.2017 jeweils fünf Kolben gesammelt. Die Fruchtstände von *T. latifolia* stammen aus dem Gewässer Nr. 23, die Herkunft der Fruchtstände von *T. angustifolia* konnte im Nachhinein nicht mehr festgestellt werden. Das Gewässer 23 ist auf der Abbildung 2 im Vordergrund zu sehen und das Gewässer 24 im Hintergrund. Abbildung 1 zeigt ebenfalls das Gewässer 23. Die Gewässer 23, 24 und 25 befinden sich südöstlich des Bahnhofs Tullnerfeld und nahe beieinander, während das Gewässer 9 etwa drei Kilometer westlich davon liegt. Die Kolben wurden einzeln in beschrifteten Papiertüten oder Kuverts gelagert, wobei diese im Fall von *T. laxmannii* in mehreren größeren Papiertüten zusammengefasst waren. Die Lagerung erfolgte in einem Kühlraum bei einer Temperatur im Bereich von ca. 4,5 bis 6°C.

Während sich die Kolben von *T. laxmannii* und *T. latifolia* in einem sehr guten Zustand befanden, waren alle fünf Kolben von *T. angustifolia* schon zum Zeitpunkt der Sammlung durch Wittereinflüsse beeinträchtigt. Ein großer Teil der Diasporen fehlte bereits und die noch vorhandenen waren teilweise miteinander verklebt oder beschädigt. Es waren jedoch bei allen

Kolben von *T. angustifolia* noch genügend intakte Diasporen für die folgenden Untersuchungen vorhanden. Bei vier der fünf Kolben war bei diesen Diasporen allerdings im Vergleich zu denen der anderen zwei *Typha*-Arten ein deutlich höherer Anteil an nicht vollständig entwickelten Samen feststellbar. Das heißt, dass diese oft sehr klein waren, sowohl in der Länge, aber vor allem in Bezug auf den Durchmesser. Zusätzlich war der normalerweise vorhandene Farbunterschied zwischen dem Samen (beziehungsweise dem Bereich des Embryos im Inneren der Frucht) und dem umgebenden Gewebe des Stiels beziehungsweise des Griffels oft kaum oder gar nicht erkennbar.

Da einzelne Diasporen schon durch geringe Luftstöße aufgewirbelt wurden, fand die Arbeit mit diesen in einem Raum mit geschlossenen Türen und Fenstern statt. Die gute Flugfähigkeit der Diasporen war besonders dann problematisch, wenn die Kolben bei der Entnahme von Diasporen aufplatzten und eine große Anzahl an Diasporen freigesetzt wurde. Dieses Aufplatzen passierte bei allen fünf Kolben von *T. latifolia*, jedoch nur bei sehr wenigen Kolben von *T. laxmannii*.

2.3 Auswahl der Kolben für die Untersuchungen

Von *T. latifolia* und *T. angustifolia* wurden für die nachfolgenden Untersuchungen (Vermessung und Wiegen der Diasporen, Keimversuche sowie anschließender Wachstumsversuch) alle zur Verfügung stehenden Fruchtstände (fünf pro Art) zur Untersuchung herangezogen. Von *T. laxmannii* wurden insgesamt 30 Fruchtstände zufällig ausgewählt, von denen jeweils zehn aus einem der drei Gewässer (9, 24 und 25) stammten.

Die Kolben, die für die Untersuchungen genutzt wurden, wurden unterschiedlich bezeichnet. Für *T. laxmannii* erfolgte die Bezeichnung nach dem System „Nr. des Gewässers/Nr. des Kolbens“. Die Kolben von *T. latifolia* wurden mit Nummern von 1 bis 5 bezeichnet und die Kolben von *T. angustifolia* mit Buchstaben von A bis E.

2.4 Vermessung der Diasporen

Um das Ausbreitungspotential der Diasporen der unterschiedlichen *Typha*-Arten besser beurteilen zu können, wurden diese mit Hilfe eines Binokulars mit Messokular vermessen. Die Messungen erfolgten zwischen Dezember 2017 und Februar 2018.

Bestimmt wurden folgende Werte:

- die Gesamtlänge der Diaspore
- die Länge des Stiels
- die Länge des Griffels (inklusive der Narbe)
- die Länge des Samens
- der Durchmesser des Samens
- die Länge der Pappushaare

Abbildung 3 zeigt das Foto einer Diaspore von *T. laxmannii* aus dem Gewässer 25, das mit einem Fotomikroskop aufgenommen wurden. Die Maße, die bestimmt wurden, sind eingezeichnet. Die Gesamtlänge der Diaspore ist die Summe der Längen des Griffels, des Samens und des Stiels. Gemessen wurde sie vom Ende des Griffels (beziehungsweise der Narbe) bis zum Ende des Stiels, das heißt ohne Berücksichtigung der Pappushaare.

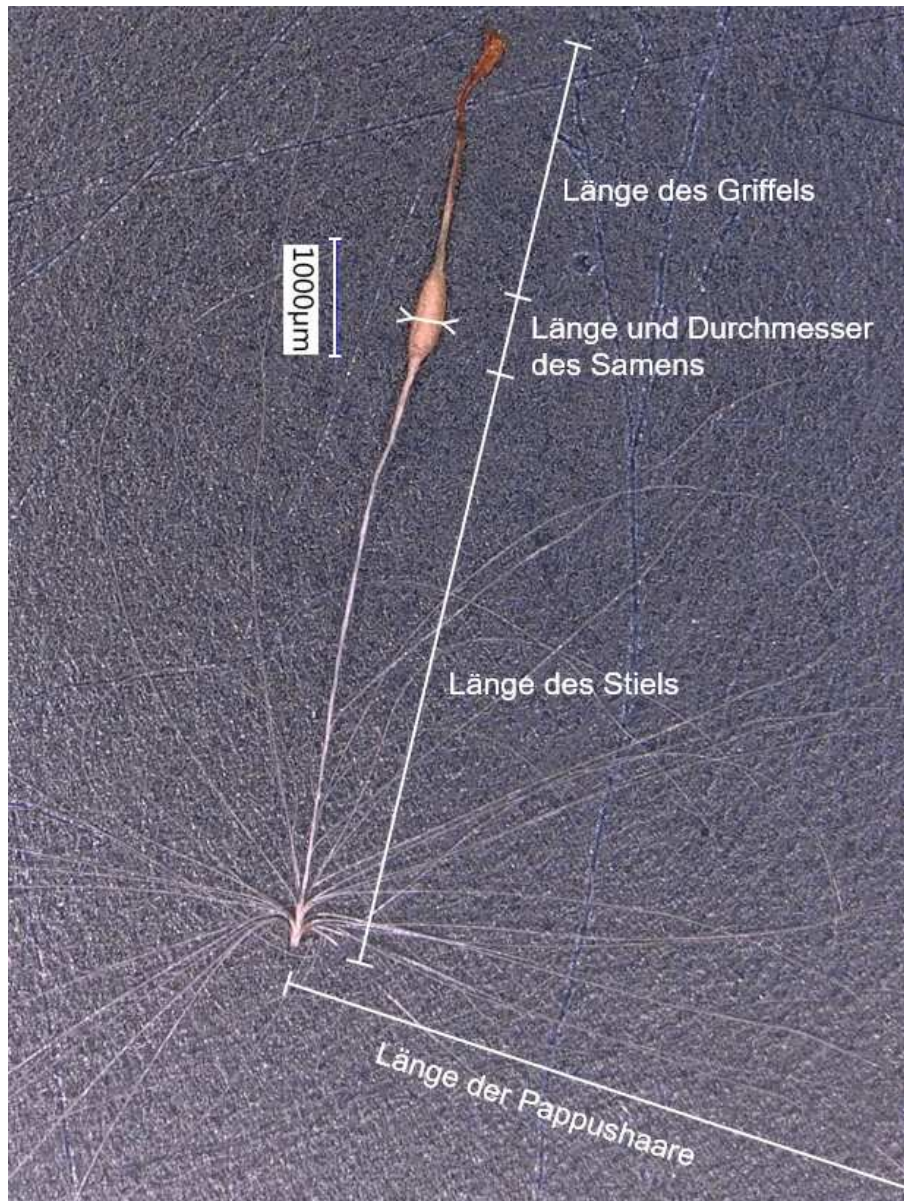


Abbildung 3: Maße einer Diaspore von *Typha laxmannii*.

Für die Messungen wurde ein Binokular des Modells Stemi DV4 der Carl Zeiss AG mit einer Okularmesseinrichtung verwendet. Das Binokular ermöglichte eine 8-fache bis 32-fache Vergrößerung. Die Okularmesseinrichtung besaß zwei Skalen, anhand derer die Längen abgelesen werden konnten, eine Skala für die 8-fache und eine Skala für die 32-fache Vergrößerung. Das bedeutet, dass für die Längenmessung der Diasporen eine dieser Vergrößerungen gewählt wurde und keine Zwischenstufe. Die Skala für die 8-fache Vergrößerung wies Teilstriche im Abstand von 0,2 mm auf und ermöglichte Messungen bis zu

einer Länge von 20 mm, bei der Skala für die 32-fache Vergrößerung hatten die Teilstriche einen Abstand von 0,1 mm und Messungen bis zu einer Länge von 5 mm waren möglich.

Auf der Skala für die 32-fache Vergrößerung konnten die Längen genauer abgelesen werden, deshalb wurde diese Vergrößerung für alle Teile der Diasporen genutzt, bei denen dies möglich war. Längen über 5 mm mussten bei 8-facher Vergrößerung gemessen werden.

Die 32-fache Vergrößerung wurde verwendet für:

- die Länge und den Durchmesser des Samens
- die Länge des Griffels bei allen Diasporen von *T. laxmannii* sowie den Diasporen der Kolben A, B, C und D von *T. angustifolia*

Die 8-fache Vergrößerung wurde verwendet für:

- die Gesamtlänge der Diaspore
- die Länge der Pappushaare
- die Länge des Stiels
- die Länge des Griffels bei allen Diasporen von *T. latifolia* sowie den Diasporen des Kolbens E von *T. angustifolia*

Für *T. laxmannii* und *T. angustifolia* konnte für die Messung der Griffellänge die 32-fache Vergrößerung verwendet werden, bei *T. latifolia* überschritten jedoch einzelne Längen den Bereich der Skala, sodass für diese Messungen die 8-fache Vergrößerung gewählt werden musste.

Die Gesamtlänge der Diaspore und deren Teile mit Ausnahme des Samens wurden mit einer Genauigkeit von 0,1 mm bestimmt, Zwischenmaße wurden auf- beziehungsweise abgerundet. Eine höhere Genauigkeit erschien aufgrund des Skalenintervalls von 0,2 mm bei 8-facher Vergrößerung nicht sinnvoll. Nur bei der Vermessung des Samens bei 32-facher Vergrößerung wurde eine höhere Genauigkeit von 0,05 mm gewählt, da dessen Dimensionen unter dem Binokular besser erkennbar waren.

Die Auswahl der Diasporen erfolgte möglichst zufällig, das heißt es wurden Diasporen von verschiedenen Stellen des Kolbens mit einer Pinzette herausgezogen. Grundsätzlich wurden alle kompletten Diasporen zur Vermessung herangezogen, auch solche mit möglicherweise nicht vollständig entwickelten Samen. Ausgeschieden wurden allerdings Diasporen mit fehlendem Griffel. Bei den ersten Messungen (die dann verworfen und wiederholt wurden) wurde deutlich, dass die Diasporen an den Enden des Kolbens (an der Basis und an der Spitze) deutlich kürzer waren als diejenigen aus der Mitte. Um eine Verzerrung der Messergebnisse durch die Auswahl der Entnahmestelle zu vermeiden, wurden für die Vermessung daher nur Diasporen aus dem inneren Bereich eines Kolbens gewählt. Abbildung 4 zeigt ungefähr diesen Bereich zwischen den zwei roten Linien. Eine Ausnahme wurde

allerdings für die Kolben von *T. angustifolia* gemacht, da bei diesen nur noch wenige intakte Diasporen vorhanden waren und diese verwendet werden mussten, unabhängig davon, wo sie sich befanden.



Abbildung 4: Bereich des Kolbens, aus dem Diasporen entnommen wurden.

Zur Messung wurden die Diasporen in eine Schale aus Papier gelegt. Sie wurden mit Hilfe von aufgebogenen Büroklammern fixiert, wenn dies notwendig war, um die Länge exakter bestimmen zu können.

Erschwert wurden die Messungen dadurch, dass die einzelnen Teile der Diasporen nicht deutlich voneinander abgegrenzt waren. Die Übergänge des Samens zum Griffel und zum Stiel verliefen fließend. Bei vollständig entwickelten Samen war ein Farbunterschied erkennbar, bei schlecht entwickelten Samen konnte dieser allerdings weniger deutlich sein oder ganz fehlen. Auch das Ende des Stiels, das nicht an den Samen grenzt, war in manchen Fällen schlecht erkennbar, wenn dieses durch den Ansatz der Pappushaare ganz oder teilweise verdeckt wurde. Nicht immer gut erkennbar waren auch der Ansatzpunkt der Pappushaare selbst sowie die Spitze der Haare, da der Kontrast der hellen Haare vor dem weißen Hintergrund (die verwendete Papierschale) gering war.

Die 32-fache Vergrößerung bot im Vergleich zur 8-fachen grundsätzlich eine bessere Erkennbarkeit, insbesondere der Spitzen der Pappushaare, konnte allerdings aufgrund der auf 5 mm begrenzten Skala nicht immer genutzt werden. Gemessen wurde möglichst immer an den gleichen Stellen, wie auf der Abbildung 3 zu sehen.

Für die Bestimmung der Länge der Pappushaare wurde versucht, eine möglichst repräsentative Länge zu bestimmen. Deshalb wurden mehrere der längsten Haare vermessen (pro Diaspore mindestens zwei) und der höchste Wert notiert. Dieser Wert muss mit Skepsis betrachtet werden, da er verfälscht sein kann, wenn zum Beispiel das längste Haar oder ein Teil davon fehlte.

Bei den ersten Messungen hat sich gezeigt, dass die mit der Okularmesseinrichtung bestimmten Werte einer fixen Länge (zum Beispiel eines Griffels) bei den zwei Vergrößerungsstufen voneinander abwichen. Deshalb wurde eine Kalibrierung mit Hilfe der Skala einer Lupe (mit zehn Teilstrichen im Abstand von je 1 mm) durchgeführt. Bei 8-facher

Vergrößerung entsprachen die 10 mm der Referenzskala dabei ca. 9,81 mm bei Messung mit dem Binokular. Das bedeutet, dass die realen Maße rund 1,9% größer waren als die bei 8-facher Vergrößerung gemessenen. Bei 32-facher Vergrößerung wichen die gemessenen Werte hingegen in die andere Richtung ab. Gemessene 5 mm entsprachen ca. 4,94 mm auf der Referenzskala. Die realen Maße waren daher ca. 1,2% kleiner als die gemessenen. Für die Auswertung wurden diese Abweichungen korrigiert, indem die Messwerte entsprechend mit 1,019 beziehungsweise 0,988 multipliziert wurden, um die realen Maße zu erhalten. Aufgrund der Rundung der Werte wirkt sich diese Korrektur nicht immer aus. Eine Veränderung der Werte bei 32-facher Vergrößerung tritt erst ab einem Messwert von rund 2,083 mm auf und bei 8-facher Vergrößerung erst ab einem Messwert von rund 2,582 mm. Keine Auswirkungen hat die Korrektur daher für die Größe des Samens (Länge und Durchmesser) und für sehr kurze Griffel und Stiele.

2.5 Gewicht und Anzahl der Diasporen

Das Gewicht der Diasporen der verschiedenen *Typha*-Arten wurde bestimmt, um Aussagen zur anemochoren Ausbreitung treffen zu können. Dazu wurden im Rahmen der Vermessung der Diasporen jeweils 250 Diasporen eines Kolbens abgezählt und in einem Glasfläschchen mit einem Deckel aus Kunststoff gesammelt. Die Auswahl der Diasporen erfolgte nach demselben Prinzip wie bei der Vermessung (siehe Kapitel „Vermessung der Diasporen“). Das heißt, die Diasporen wurden möglichst zufällig aus dem inneren Bereich des jeweiligen Kolbens entnommen und es wurden wiederum auch Diasporen mit nicht vollständig entwickelten Samen berücksichtigt.

Es wurden dieselben Kolben verwendet wie bei der Vermessung der Diasporen, also insgesamt 30 Fruchtstände von *T. laxmannii* (jeweils zehn pro Gewässer) und jeweils fünf Fruchtstände von *T. angustifolia* und *T. latifolia*.

Das Gewicht der abgezählten Diasporen wurde im Juni 2018 bestimmt. Bis zu diesem Zeitpunkt erfolgte die Lagerung der verschlossenen Glasfläschchen im Kühlraum bei einer Temperatur im Bereich von ca. 4,5 bis 6°C. Verwendet wurde die Analysenwaage CP224S der Sartorius AG. Diese Waage hatte einen Wägebereich bis 220 g und eine Ablesegenauigkeit von 0,1 mg. Die jeweils 250 Diasporen eines Kolbens wurden zum Wiegen in eine kleine Schale aus gefaltetem Papier gegeben. Alle vier Nachkommastellen der Anzeige wurden notiert.

Um die Anzahl der Diasporen eines Fruchtstandes berechnen zu können, wurden weitere Messungen im November 2018 durchgeführt. Dazu wurden einige Kolben von *T. laxmannii* ausgewählt, die noch in einem guten Zustand, das heißt möglichst vollständig waren. Zusätzlich wurde bei der Auswahl darauf geachtet, Kolben mit unterschiedlichen Werten in

Bezug auf das Gewicht der 250 Diasporen zu wählen. Zuerst wurde das Gewicht eines einzelnen Kolbens bestimmt, anschließend wurden alle Diasporen von der Sprossachse entfernt und das Gewicht der Sprossachse bestimmt. Aus der Differenz dieser Messungen ergab sich das Gesamtgewicht aller Diasporen eines Kolbens. Mit Hilfe des Messwertes der jeweils 250 Diasporen konnte so die ungefähre Anzahl der Diasporen ermittelt werden.

Für diese Messungen wurde die Waage LC2201S der Sartorius AG genutzt. Diese hatte einen Wägebereich bis 2200 g und eine Ablesegenauigkeit von 0,01 g. Es wurden insgesamt 17 Kolben von *T. laxmannii* gewogen, davon jeweils fünf aus den Gewässern 25 und 9 sowie sieben aus dem Gewässer 24. Für *T. latifolia* und *T. angustifolia* konnten keine Messungen durchgeführt werden. Bei *T. latifolia* platzten alle fünf verfügbaren Kolben beim Entnehmen der Diasporen auf und bei *T. angustifolia* war bei allen Kolben nur noch ein Teil der Diasporen vorhanden.

2.6 Keimversuche

2.6.1 Allgemeines

Für die Keimversuche wurde die Pflanzenzuchtammer MLR-352-PE („Versatile Environmental Test Chamber“) von Panasonic verwendet. Dieser Keimschrank verfügte über mehrere Einlegeböden und insgesamt 15 Lampen auf den Seiten und in der Tür. Während der Versuche waren davon sieben Lampen in Betrieb. Die Beleuchtung wurde so gesteuert, dass sie zwölf Stunden lang durchgehend eingeschaltet war (immer von ca. 19:47 bis 07:47) und anschließend für zwölf Stunden Dunkelheit herrschte. Während der Zeit der Beleuchtung wurde die Temperatur auf 20°C eingestellt und während der Dunkelphase wurde sie auf 15°C abgesenkt.

Neben einem Lichtkeimversuch, bei dem die Diasporen zeitweise beleuchtet wurden, wurden noch zwei kleinere Dunkelkeimversuche durchgeführt, bei denen die Diasporen nicht oder nur in sehr geringem Ausmaß dem Licht ausgesetzt waren. Mit den Ergebnissen dieser Versuche sollte erstens festgestellt werden, ob die untersuchten *Typha*-Arten Lichtkeimer sind, das heißt ob diese neben der Befeuchtung auch einen Lichteinfluss als Auslösemechanismus für die Keimung benötigen. Zweitens sollte untersucht werden, ob sich das Keimverhalten mit der Entfernung der Beleuchtung verändert.

2.6.2 Lichtkeimversuch

Von denselben Kolben, die bereits für die Vermessung und das Wiegen der Diasporen genutzt wurden, wurden vor Beginn des Lichtkeimversuchs jeweils 40 Diasporen aus dem inneren Bereich der Kolben entnommen. Alle Diasporen wurden berücksichtigt, also auch solche mit nicht vollständig entwickelten Samen. Die Diasporen jeweils eines Kolbens wurden in

transparente und beschriftete Petrischalen aus Kunststoff auf jeweils zwei Lagen Filterpapier gelegt. Das Filterpapier wurde mit einer Spritzflasche befeuchtet, wenn dies notwendig erschien, um es ständig feucht zu halten. Die Petrischalen wurden mit einem lose aufliegenden, ebenfalls transparenten Deckel verschlossen. Um Einflüsse durch die Position der Petrischalen im Keimschrank zu vermeiden, wurden diese täglich (mit Ausnahme der Tage, an denen keine Zählung durchgeführt wurde) rotiert.

Der Tag, an dem der Keimversuch gestartet wurde (05.03.2018), wird als Tag 0 bezeichnet, der nachfolgende Tag als Tag 1 und so weiter.

Um abschätzen zu können, wie viele der Samen grundsätzlich keimfähig wären, wurde die Anzahl der vermutlich nicht vollständig entwickelten Samen erhoben. Damit sind diejenigen Samen gemeint, die entweder deutlich schmaler als der Durchschnitt waren und/oder solche, bei denen nur ein geringer oder kein Farbunterschied im Vergleich zum Stiel oder Griffel erkennbar war. Normal entwickelte Samen waren dunkler als die angrenzenden Teile der Diaspore. Die Anzahl der Diasporen mit vermutlich nicht vollständig entwickelten Samen wurde am Tag 0, also dem Tag, an dem der Keimversuch gestartet wurde, mit freiem Auge erhoben und notiert und zusätzlich am Tag 7 mit Hilfe eines Binokulars.

Während des Keimversuchs wurde täglich (mit Ausnahme der Tage 6, 13 und 20) erhoben, wie viele Diasporen pro Petrischale insgesamt noch vorhanden waren und wie viele Samen gekeimt waren. Einige wenige Diasporen sind während des Versuchszeitraums verschwunden, möglicherweise sind sie beim Befeuchten versehentlich zwischen die Lagen des Filterpapiers gelangt oder wurden aus den Petrischalen entfernt. Zusätzlich wurden Besonderheiten notiert, wie zum Beispiel Pilzwachstum auf den Diasporen oder dem Filterpapier und die Entnahme von gekeimten Samen für den folgenden Wachstumsversuch. Diese Daten wurden nach Möglichkeit immer zu einer ähnlichen Uhrzeit erhoben.

Als gekeimt wurden Samen dann betrachtet, wenn die Radicula die Samenschale durchbrochen hatte und zumindest deren Spitze außerhalb dieser deutlich erkennbar war. Die Bestimmung erfolgte bis inklusive Tag 3 mit freiem Auge und ab Tag 4 mit Hilfe eines Binokulars.

In einigen Petrischalen breiteten sich während des Versuchs Pilze aus. Da das Pilzwachstum in den meisten Fällen aber nur gering war und somit kein negativer Einfluss auf die Keimfähigkeit der Samen zu befürchten war, wurde auf den Einsatz eines Fungizids verzichtet. Ein sehr starkes Pilzwachstum gab es jedoch bei vier der fünf Petrischalen von *T. angustifolia*, und zwar bei jenen, bei denen zuvor ein sehr hoher Anteil an vermutlich nicht vollständig entwickelten Samen festgestellt wurde (A, B, C und D). Bei einigen betroffenen Samen entwickelten sich kugelförmige Verdickungen, die teilweise aufplatzten.

Der Lichtkeimversuch wurde am Tag 23 beendet und an diesem Tag wurde ein TTC-Test durchgeführt, um die Anzahl der noch vitalen, aber nicht gekeimten Samen zu ermitteln. Tetrazoliumchlorid (TTC) ist ein Indikator für Zellatmung, da es in lebenden Geweben reduziert wird und diese rot färbt (Starfinger & Karrer, 2016). Auf die noch vorhandenen Diasporen wurde mit einer Pipette eine Lösung mit 1% TTC getropft. Es wurde 24 Stunden gewartet, um dem TTC Zeit zum Einwirken zu geben. Am Tag 24 konnte jedoch keine Rotfärbung der Samen festgestellt werden. Sichtbar war nur eine leichte rote Verfärbung des Filterpapiers. Auch einen Tag später änderte sich daran nichts. Es wurden zusätzlich noch einige Diasporen von Kolben mit besonders hoher Keimrate entnommen und mit TTC behandelt, aber auch an diesen, die jedenfalls noch keimfähig und daher vital gewesen sein sollten, war keine Rotfärbung erkennbar. Es blieb unklar, warum der TTC-Test in diesem Fall nicht wie erwartet funktioniert hat.

Um zumindest eine Abschätzung über die Anzahl noch vitaler Samen treffen zu können, wurde am Tag 25 ein Drucktest durchgeführt. Dazu wurde mit einer Pinzette ein leichter Druck auf die Samen ausgeübt und so getestet, ob diese noch fest oder schon aufgeweicht waren. Aufgeweichte Samen ließen sich leicht zerdrücken, von den noch festen konnte angenommen werden, dass diese noch vital und eventuell keimfähig gewesen sein könnten. Die Anzahl fester Samen pro Petrischale wurde notiert.

2.6.3 Dunkelkeimversuch 1

Für den ersten Dunkelkeimversuch (DV 1) wurden Diasporen von insgesamt zehn Kolben verwendet, vier davon von *T. laxmannii* (pro Gewässer mindestens einer) und je drei von *T. latifolia* und *T. angustifolia*. Einzelne Kolben wurden dafür bewusst ausgewählt (zum Beispiel der Kolben „E“ von *T. angustifolia*) und andere gemieden (Kolben mit vielen kleinen, vermutlich nicht vollständig entwickelten Samen). Ansonsten erfolgte die Auswahl zufällig mit Hilfe der Funktion „Zufallsbereich“ in Microsoft Excel.

Die Vorbereitung der Diasporen erfolgte wie beim Lichtkeimversuch. Von jedem der zehn Kolben wurden wieder 40 Diasporen entnommen und in Petrischalen auf zwei Lagen Filterpapier gelegt. Das Befeuchten der Diasporen fand danach in einem vollkommen abgedunkelten Raum statt. Zur Beleuchtung wurde eine spezielle Lampe mit ausschließlich grünem Anteil des Lichts verwendet, das nicht als Auslöser der Keimung wirken sollte.

Ab diesem Zeitpunkt wurde genau darauf geachtet, keine Einwirkung von Licht auf die Samen zuzulassen. Nach dem Befeuchten des Filterpapiers wurden deshalb die Petrischalen mit mehreren Lagen Alufolie umwickelt. Anschließend wurden sie zu den anderen Petrischalen in den Keimschrank gestellt, um gleiche Bedingungen in Bezug auf die Temperatur zu erreichen.

Die Zählung der gekeimten Samen, die ebenfalls in dem abgedunkelten Raum bei grünem Licht erfolgte, wurde für den Dunkelversuch nicht täglich durchgeführt, um die Möglichkeit einer Lichteinwirkung zu minimieren. Aufgrund der Alufolie, die die Petrischalen umhüllte, konnte weniger verdunstetes Wasser entweichen, weshalb auch die Befeuchtung des Filterpapiers seltener notwendig war.

Die Petrischalen standen 14 Tage lang verpackt in Alufolie im Keimschrank. Bis zu diesem Zeitpunkt gab es keine Lichteinwirkung auf die Samen. Am Tag 14 wurde die Alufolie entfernt und die Petrischalen danach wie die des Lichtkeimversuchs behandelt. Das heißt, es wurde täglich (mit Ausnahme von Tag 20) die Anzahl der insgesamt vorhandenen Diasporen sowie die Anzahl der gekeimten Samen ermittelt und zusammen mit eventuellen Besonderheiten notiert.

Die Anzahl der vermutlich nicht vollständig entwickelten Samen wurde für den ersten Dunkelkeimversuch am Tag 0 mit freiem Auge bestimmt und am Tag 14 mit Hilfe des Binokulars. Die tägliche Zählung wurde bis inklusive Tag 25 durchgeführt, danach wurde aufgrund der nur sehr geringen Keimrate die Frequenz reduziert. Nach Tag 25 fanden Zählungen noch an den Tagen 29, 31, 35 und 37 statt.

Am Tag 37 (11.04.) wurde der Versuch beendet und ein TTC-Test durchgeführt. Es wurde dieselbe einprozentige TTC-Lösung verwendet wie beim Lichtkeimversuch. Nach 24 Stunden sollten die Ergebnisse erfasst werden, aber auch in diesem Fall war keine Rotfärbung der Samen erkennbar. Erneut gab es nur eine rötliche Verfärbung des Filterpapiers, besonders an den Rändern. Deshalb wurde für die noch vorhandenen Diasporen ebenfalls ein Drucktest gemacht.

2.6.4 Dunkelkeimversuch 2

Um herauszufinden, ob bereits eine kurze Lichteinwirkung auf die Samen zur Auslösung der Keimung ausreicht, wurde ein zweiter Dunkelkeimversuch (DV 2) durchgeführt. Für diesen wurde für jede der drei *Typha*-Arten ein Kolben mit hoher Keimrate ausgewählt, um gut vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Gewählt wurden der Kolben 9/8 von *T. laxmannii*, Nr. 3 von *T. latifolia* und „E“ von *T. angustifolia*. Die jeweils 40 Diasporen pro Kolben wurden auch für diesen Versuch in Petrischalen auf zwei Lagen Filterpapier gelegt.

Der zweite Dunkelkeimversuch wurde am 19.03. gestartet (Tag 14 des Lichtkeimversuchs). An diesem Tag wurden die Diasporen befeuchtet und waren dabei einige Minuten dem Tageslicht durch die Fenster und dem Licht durch die Beleuchtung im Raum ausgesetzt. Die Petrischalen wurden danach mit Alufolie umwickelt und in den Keimschrank gestellt. Die Petrischalen wurden erstmals am 24.03. (Tag 19) geöffnet, um die gekeimten Samen zu zählen. Weitere Zählungen fanden an den Tagen 21, 23, 25, 29 und 31 statt. Während der

Zählungen gab es jeweils für einige Minuten Lichteinwirkung auf die Samen, bevor die Petrischalen erneut mit Alufolie umhüllt wurden. Am 05.04. (Tag 31) wurde die Alufolie komplett entfernt. Danach erfolgten noch Zählungen an den Tagen 35, 37 und 38. Am 12.04. wurde der Versuch beendet und ein Drucktest, aber diesmal kein TTC-Test durchgeführt.

2.7 Wachstumsversuch

Der Wachstumsversuch sollte Informationen zum Wachstum der verschiedenen *Typha*-Arten bei unterschiedlichen Bedingungen liefern. Festgestellt werden sollte sowohl das Höhenwachstum der Pflanzen als auch die Zunahme an Trockengewicht im Laufe der Vegetationsperiode.

Während der Keimversuche (Lichtkeimversuch und Dunkelkeimversuch 1) wurden immer wieder Keimlinge für den Wachstumsversuch entnommen. Da die Anzahl der Keimlinge von *T. latifolia* und *T. angustifolia* aber nicht ausreichend war, wurden von diesen zwei Arten zusätzliche Diasporen in den Keimschrank gegeben. Die gekeimten Samen wurden im Gewächshaus der Universität für Bodenkultur in mit Torfkultursubstrat gefüllte, flache Schalen gelegt. Abbildung 5 zeigt diese Schalen. Sie standen auf einem Tisch im Wasser, sodass das Substrat ständig feucht war.



Abbildung 5: Schalen im Gewächshaus (13.03.2018).

Die Samen wurden in einem Raster angeordnet, damit sich die heranwachsenden Pflanzen möglichst wenig gegenseitig beeinflussen. Ab diesem Zeitpunkt wurde nicht mehr nach Kolben unterschieden, sondern nur noch nach der Art und bei *T. laxmannii* zusätzlich nach dem Gewässer, aus dem die Kolben stammten. Insgesamt wurden neun Schalen verwendet, jeweils zwei für *T. latifolia* und *T. angustifolia* sowie für die Gewässer 9 und 25 bei *T. laxmannii* und eine Schale für das Gewässer 24. Die ersten Samen wurden am 13. März 2018 ins Gewächshaus gegeben und in den Wochen darauf folgten noch weitere.

Die Pflanzen wurden in diesen Schalen gelassen, bis sie groß genug waren, um einzeln in Töpfe gepflanzt zu werden. Dies erfolgte Anfang Mai. Abbildung 6 zeigt die Schalen zu diesem Zeitpunkt, auf dem Foto fehlen bereits einige entnommene Pflanzen.



Abbildung 6: Schalen im Gewächshaus (08.05.2018).

Für den Wachstumsversuch wurden 16 große Wannen vorbereitet, in die jeweils eine geschweißte Metallkonstruktion mit Platz für neun Töpfe eingehängt wurde. In jeder der Wannen befand sich ein Schlauch als Wasserablauf, der innen an der Seite der Wannen fixiert wurde. Die Wannen sind auf der Abbildung 7 zu sehen.



Abbildung 7: Wannen im Gewächshaus (11.05.2018).

Zum Vergleich des Wachstums wurden vier unterschiedliche Versuchsbedingungen festgelegt. Diese ergeben sich erstens durch die Verwendung von zwei verschiedenen Substraten, nämlich dem nährstoffreicheren Torfkultursubstrat 2 (TKS 2) und dem nährstoffärmeren Torfkultursubstrat 1 (TKS 1). Beide Substrate wurden jeweils im Verhältnis 1:1 mit Quarzsand mit einer Körnung von 0,3 bis 2 mm gemischt. Zweitens wurden in den

Wannen zwei unterschiedliche Wasserhöhen durch die Änderung der Höhe des Wasserablaufs (Öffnung des Schlauchs) eingestellt. Die niedrige Wasserhöhe wurde so gewählt, dass die Töpfe ca. 0,5 bis 1 cm im Wasser standen. Das Substrat war dadurch durchgehend feucht, sodass Bedingungen wie am Rand eines Gewässers (außerhalb des Wassers) geschaffen wurden. Bei der hohen Wasserhöhe standen die Töpfe so weit im Wasser, dass die Wasseroberfläche ungefähr auf der Höhe der Substratoberfläche lag. Das heißt, dass sich das Substrat bei dieser Höhe vollständig oder fast vollständig im Wasser befand. Die Wannen wurden regelmäßig mit zusätzlichem Wasser befüllt, um Verluste durch Verdunstung auszugleichen, sodass die Höhe des Wasserstandes während des Versuchs annähernd konstant war. Jede der vier Wachstumsbedingungen wurde in vier der 16 Wannen realisiert. Die Anordnung der Bedingungen ist auf der Abbildung 8 dargestellt.

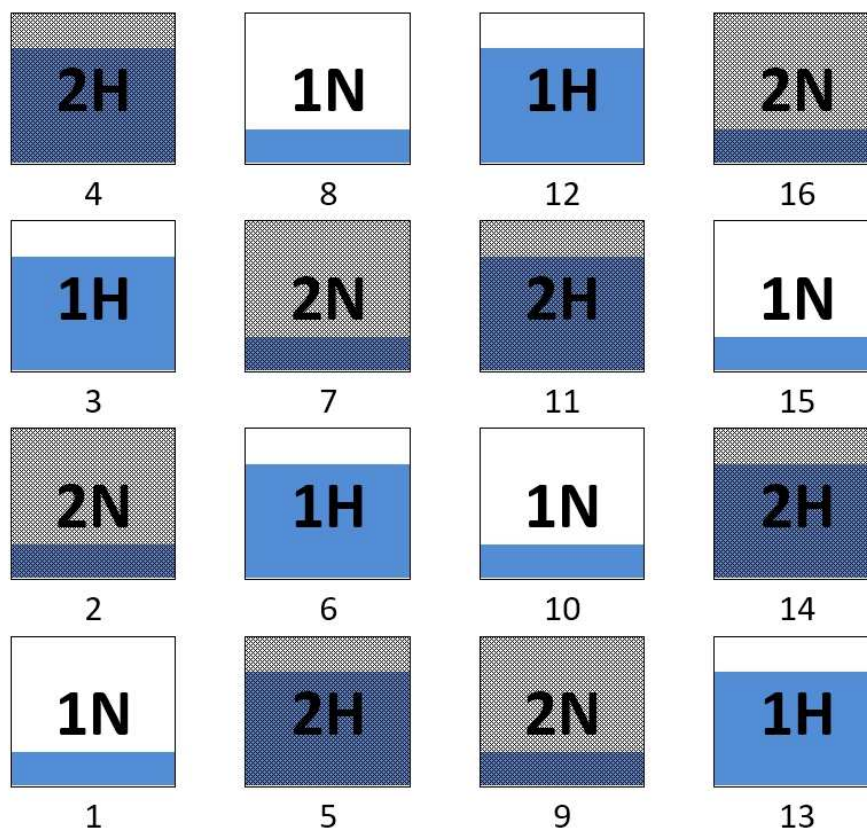


Abbildung 8: Schematische Anordnung der Wannen mit vier Wachstumsbedingungen. Diese sind mit 1H, 1N, 2H und 2N abgekürzt. Die Zahlen 1 und 2 bezeichnen dabei das verwendete Substrat (TKS 1 oder TKS 2) und die Buchstaben stehen für die Wasserhöhe in den Wannen („H“ für hoch oder „N“ für niedrig). Wannen mit dem nährstoffreicheren Substrat TKS 2 sind dunkler dargestellt und die Höhe des blauen Bereichs symbolisiert die Wasserhöhe. Die Wannen sind unterhalb nummeriert (1 bis 16).

Die Wannen befanden sich während des Versuchs in einem Teil eines Gewächshauses, in dem die Wände und das Dach nur aus einem Metallgitter bestanden. Das bedeutet, dass die Pflanzen dem Wetter ausgesetzt waren und Wind sowie Regen auf sie einwirkten.

Am 7., 8. und 9. Mai wurden schließlich die jeweils größten Pflanzen einer Art beziehungsweise eines Gewässers mit Hilfe eines Pikierstabes ausgegraben, vermessen und

fotografiert. Gemessen wurde mit einer Genauigkeit von 0,1 cm vom obersten Wurzelansatz bis zur Spitze des längsten Blattes. Anschließend wurden sie mit einem beschrifteten Pflanzetikett versehen und zur Zwischenlagerung in flache, mit etwas Wasser gefüllte Schalen gelegt. Danach wurden die Pflanzen in das Gewächshaus gebracht, in dem sich die Wannen befanden und in vorbereitete, mit Vlies ausgekleidete Töpfe mit einem Volumen von 3,5 Litern gepflanzt.

Die Zuordnung der einzelnen Pflanzen zu einer der vier Wachstumsbedingungen wurde vorher durch Zufall (mit Hilfe der Funktion „Zufallsbereich“ in Microsoft Excel) bestimmt. Jeder Wanne wurden so von *T. laxmannii* jeweils zwei Pflanzen pro Gewässer (also insgesamt sechs Pflanzen) und zum Vergleich zwei Pflanzen von *T. latifolia* und eine Pflanze von *T. angustifolia* zugeordnet. Insgesamt wurden für den Wachstumsversuch daher 144 Pflanzen untersucht, davon 36 für jede der vier Wachstumsbedingungen. Abbildung 9 zeigt eine der Wannen (Nr. 9) aus der Nähe.



Abbildung 9: Wanne 9 im Gewächshaus.

Während des Wachstums der Pflanzen wurden folgende Daten jeweils im Abstand von ca. vier Wochen für jeden Topf erhoben:

- die Höhe des Hauptsprosses (beziehungsweise die Länge des längsten Blattes), also der Mutterpflanze, die ursprünglich in den Topf gepflanzt wurde
- die Anzahl der Nebensprosse, die von der Mutterpflanze vegetativ über Rhizomausläufer gebildet wurden
- die Höhe jedes einzelnen Nebensprosses

Die Messungen der Höhen fanden zu sechs Zeitpunkten statt, die mit den Ziffern 0 bis 5 bezeichnet werden. Bei der Messung Nr. 0 handelt es sich um den Zeitpunkt, zu dem die Pflanzen einzeln in die Töpfe gepflanzt wurden. Aufgrund des Arbeitsaufwandes wurden die Messungen des Zeitpunktes 0 auf drei Tage und die der Zeitpunkte 2 bis 5 auf jeweils zwei aufeinanderfolgende Tage verteilt. Die Messungen erfolgten am 29. Mai (Messung Nr. 1), am 25. und 26. Juni (Nr. 2), am 24. und 25. Juli (Nr. 3), am 22. und 23. August (Nr. 4) sowie am 20. und 21. September (Nr. 5).

Für die Messung der Höhen ab dem Zeitpunkt 1 wurde ein Maßband verwendet und eine Genauigkeit von 0,5 cm gewählt. Gemessen wurde von der Substratoberfläche bis zur Spitze des längsten Blattes. Das Maßband wurde neben dem jeweiligen Spross mit leichtem Druck auf das Substrat aufgesetzt und anschließend bis zur Spitze gemessen, wobei die Blätter dabei gerade aufgerichtet wurden. Bei hängenden Blättern oder schief wachsenden Sprossen ist somit die gemessene Höhe größer als die „tatsächliche“ Höhe des Sprosses.

Beachtet werden muss außerdem, dass beim Einpflanzen in die Töpfe einzelne Blätter umgeknickt und aufgrund der Beschädigungen anschließend abgestorben sind. Dadurch war die Höhe einiger Pflanzen bei der Messung Nr. 1 kleiner als bei der Messung Nr. 0. Bei den Messungen im August (Nr. 4) und September (Nr. 5) waren einige der Blattspitzen der Pflanzen bereits vertrocknet. Teilweise sind dadurch auch Teile der Spitzen abgebrochen. Das führte dazu, dass die Höhe einzelner Sprosse bei diesen Messungen im Vergleich zu den früheren Messungen abgenommen hat.

Um am Ende des Wachstumsversuchs das Trockengewicht der Pflanzen bestimmen zu können, mussten diese vorher aus den Töpfen genommen, gereinigt und getrocknet werden. Dies erfolgte zwischen Ende September und Mitte Oktober. Zur Reinigung wurden zwei mit Wasser gefüllte Wannen verwendet, in denen das Substrat ausgespült und die Pflanzen gewaschen wurden, um an den Rhizomen und Wurzeln haftende Substratreste zu entfernen. Rhizomteile und Wurzeln, die durch das Vlies gewachsen waren, wurden zum Großteil aus diesem entfernt und ebenfalls gewaschen. Wurzeln, Rhizome und Nebensprosse, die außerhalb der Töpfe wuchsen, wurden ebenfalls eingesammelt. Ein kleiner Teil der Pflanzenmasse ging allerdings beim Waschen verloren.

Nach dem Waschen der Pflanzen wurden die unterirdischen Triebe, also jene Triebe, die im darauffolgenden Jahr neue Sprosse gebildet hätten, gezählt und deren Anzahl notiert. Dies erfolgte jedoch nur für die Pflanzen der Wannen 1 bis 8. Anschließend wurden die Pflanzen einzeln in beschriftete Papiertüten gegeben. Diese wurden dann in einen Trockenschrank der Firma Memmert gelegt. Jede Pflanze war für mindestens eine Woche im Trockenschrank, die Temperatur während des Trocknungsvorgangs lag bei ca. 40°C. Zwischen dem Trocknen und

dem Wiegen waren die Pflanzen für ca. zwei Wochen in einem Kellerraum gelagert. Während dieser Zeit haben die Pflanzen wieder eine geringe Menge an Feuchtigkeit aufgenommen.

Vor dem Wiegen wurden die einzelnen Sprosse knapp oberhalb des Ansatzes der obersten Wurzeln zerschnitten. So konnte mit einer Waage das Gewicht der oberirdischen Teile (hauptsächlich Blätter) sowie das Gewicht der unterirdischen Teile (Rhizom und Wurzeln) getrennt gemessen werden. Verwendet wurde dazu die Waage LC2201S der Sartorius AG mit einem Wägebereich bis 2200 g und eine Ablesegenauigkeit von 0,01 g. Diese ist auf der Abbildung 10 zu sehen. Vor dem Wiegen wurden noch verbliebene gröbere Substratreste von den Pflanzen entfernt, soweit dies möglich war.



Abbildung 10: Bestimmung des Trockengewichts (Wiegen der oberirdischen Teile).

Während des Wiegens hat sich gezeigt, dass einzelne Rhizome im Inneren nicht vollständig trocken waren. Besonders bei den dickeren Rhizomen war nach dem Zerschneiden an den Schnittflächen teilweise noch Feuchtigkeit feststellbar. Aus diesem Grund wurden insgesamt 31 Pflanzen mit einem hohen Gewicht und dicken Rhizomen nach der ersten Messung noch einmal für ca. eine Woche in den Trockenschrank gelegt.

Um möglichst vergleichbare Bedingungen für die Messungen nach dem zweiten Trocknungsvorgang zu erhalten, wurden die Pflanzen nach dem Herausnehmen aus dem Trockenschrank für eine Woche im Kellerraum gelagert, bevor sie erneut gewogen wurden. Bei dieser zweiten Messung lag das Gewicht der unterirdischen Teile im Mittel rund 6,3% und das Gewicht der oberirdischen Teile rund 2,9% unter dem Wert der ersten Messung. Für die Auswertung wurde für jede Pflanze der Wert der jeweils letzten Messung herangezogen. Es muss daher berücksichtigt werden, dass das gemessene Gewicht dieser Pflanzen aufgrund

der in Summe längeren Trocknungsdauer relativ gesehen etwas geringer ist als das derjenigen Pflanzen, die nur einmal getrocknet wurden. Da alle Pflanzen während der Lagerung wieder Feuchtigkeit aufgenommen haben, handelt es sich bei den Messwerten nicht um das tatsächliche Trockengewicht, das nur sofort nach dem Herausnehmen aus dem Trockenschrank bestimmbar wäre.

2.8 Datenauswertung

Für die Erfassung und teilweise auch die Auswertung der Daten wurde Microsoft Excel 2016 verwendet, ebenso für die Erstellung derjenigen Diagramme, die eine zeitliche Veränderung zeigen. Alle anderen Diagramme wurden mit der Software „R“ (Version 3.5.2) beziehungsweise dem „R Commander“ (Version 2.5-1) erzeugt. Diese Software wurde außerdem für die Berechnung der statistischen Modelle und den Großteil der Datenauswertung genutzt.

Für die Beurteilung des Einflusses verschiedener Faktoren auf das Trockengewicht der Pflanzen am Ende des Wachstumsversuchs (Tabelle 8) wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse berechnet. Zur Überprüfung der Voraussetzungen für dieses statistische Verfahren wurde ein Levene-Test und ein Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Diese haben gezeigt, dass die Annahme der Varianzhomogenität erfüllt ist, die Residuen allerdings nicht vollkommen normalverteilt sind. Dies ist vor allem auf Ausreißer zurückzuführen, also Pflanzen mit einem besonders hohen oder niedrigen Trockengewicht. Die Anwendung der Varianzanalyse erschien aufgrund der relativ großen Grundgesamtheit dennoch sinnvoll.

Um feststellen zu können, ob sich die verschiedenen Gruppen signifikant voneinander unterscheiden, wurden in allen Fällen Kruskal-Wallis-Tests genutzt. Diese nichtparametrischen Tests wurden gewählt, da die Voraussetzungen der Varianzhomogenität und der Normalverteilung der Residuen nicht immer gegeben waren. Bei der Untersuchung von mehr als zwei Gruppen musste im Fall von signifikanten Unterschieden zwischen diesen anschließend noch ein Post-hoc-Test durchgeführt werden, um die genauen Verhältnisse bestimmen zu können. Dazu wurden Dunn-Tests eingesetzt, mit dem Verfahren nach Benjamini und Hochberg zur Korrektur der p-Werte. Dadurch konnten den einzelnen Gruppen Buchstaben zur Darstellung von signifikanten Unterschieden zugewiesen werden. Es wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ gewählt.

3 Ergebnisse

3.1 Maße der Diasporen

Abbildung 11 zeigt Boxplots der Gesamtlänge der Diasporen (gemessen vom Ende des Griffels bis zum Ende des Stiels). Die längsten Diasporen waren diejenigen von *T. latifolia*, jeder einzelne Messwert war dabei größer als der größte Wert der Diasporen der anderen Arten. Bei *T. angustifolia* waren die Diasporen des Kolbens mit der Bezeichnung „E“ deutlich länger als die Diasporen der anderen Kolben dieser Art (bei denen in vielen Fällen die Samen nicht vollständig entwickelt waren; siehe Kapitel 2.2). Sie sind daher zusätzlich getrennt dargestellt (ANG E). Die Diasporen von *T. laxmannii* aus allen drei Gewässern waren im Mittel kürzer als die Diasporen des Kolbens E von *T. angustifolia*. Der Vergleich der drei Populationen zeigt, dass die Diasporen, die aus dem Gewässer 9 stammten, im Mittel am längsten waren, gefolgt von den Diasporen aus dem Gewässer 25. Die Diasporen aus dem Gewässer 24 waren am kürzesten und bei diesen war außerdem die Streuung am größten. Diese ist ähnlich wie bei den Werten von *T. angustifolia* auf einen Anteil an schlecht entwickelten Diasporen zurückzuführen.

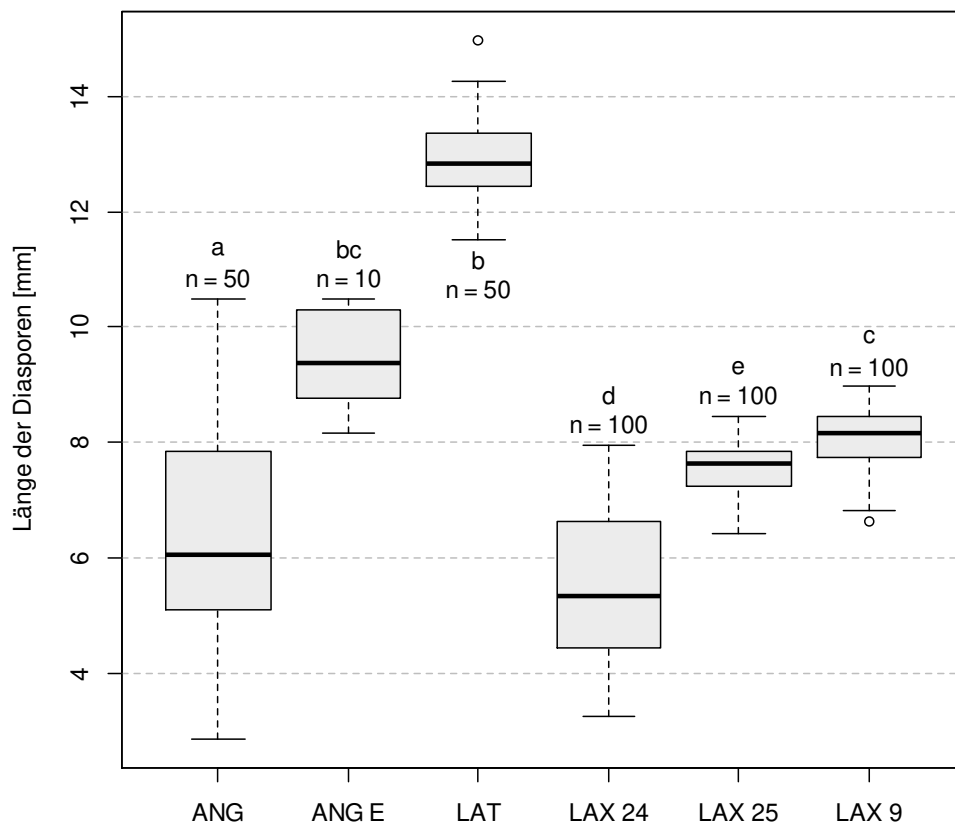


Abbildung 11: Gesamtlänge der Diasporen. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

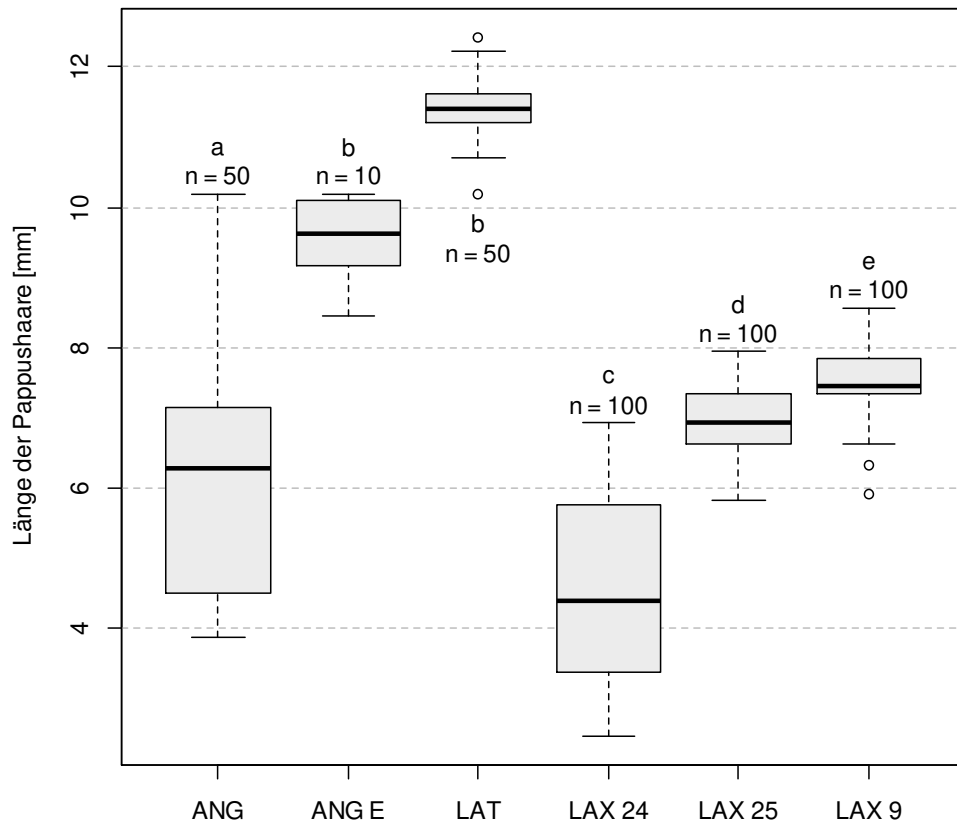


Abbildung 12: Länge der Pappushaare. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

In der Abbildung 12 sind die Längen der Pappushaare dargestellt. Das Diagramm ähnelt dem vorherigen, da die Verhältnisse der Werte ähnlich sind. Wieder waren die größten Werte bei den Diasporen von *T. latifolia* zu finden. Dahinter folgten die Diasporen des Kolbens E von *T. angustifolia*, die Pappushaare der Diasporen von *T. laxmannii* waren deutlich kürzer. Die Reihenfolge der Mittelwerte der drei Populationen von *T. laxmannii* ist dieselbe wie bei der Gesamtlänge der Diasporen und ebenso bei allen anderen Maßen (siehe Tabelle 2). Die Werte der Diasporen aus dem Gewässer 24 weisen wieder die größte Streuung auf.

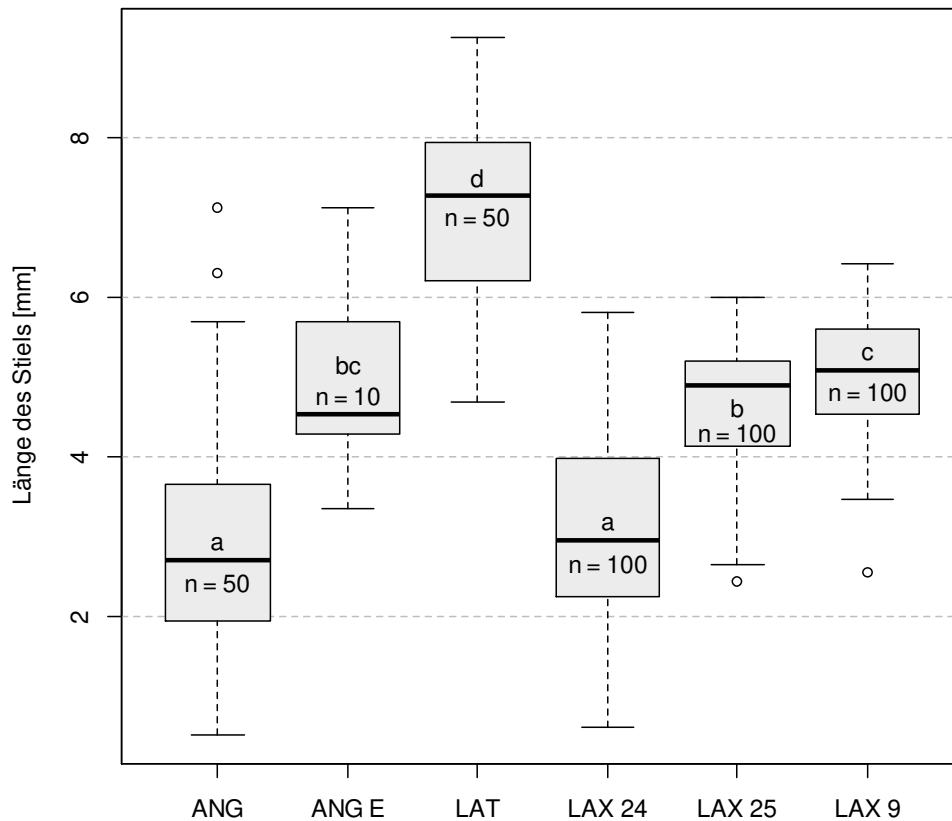


Abbildung 13: Länge des Stiels. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

Bei den Längen der Stiele, die in der Abbildung 13 zu sehen sind, sind die Unterschiede zwischen den Werten des Kolbens E von *T. angustifolia* und den Werten von *T. laxmannii* geringer. Sie liegen für ANG E, LAX 9 und LAX 25 auf einem ähnlichen Niveau, nur die Stiele von LAX 24 waren kürzer.

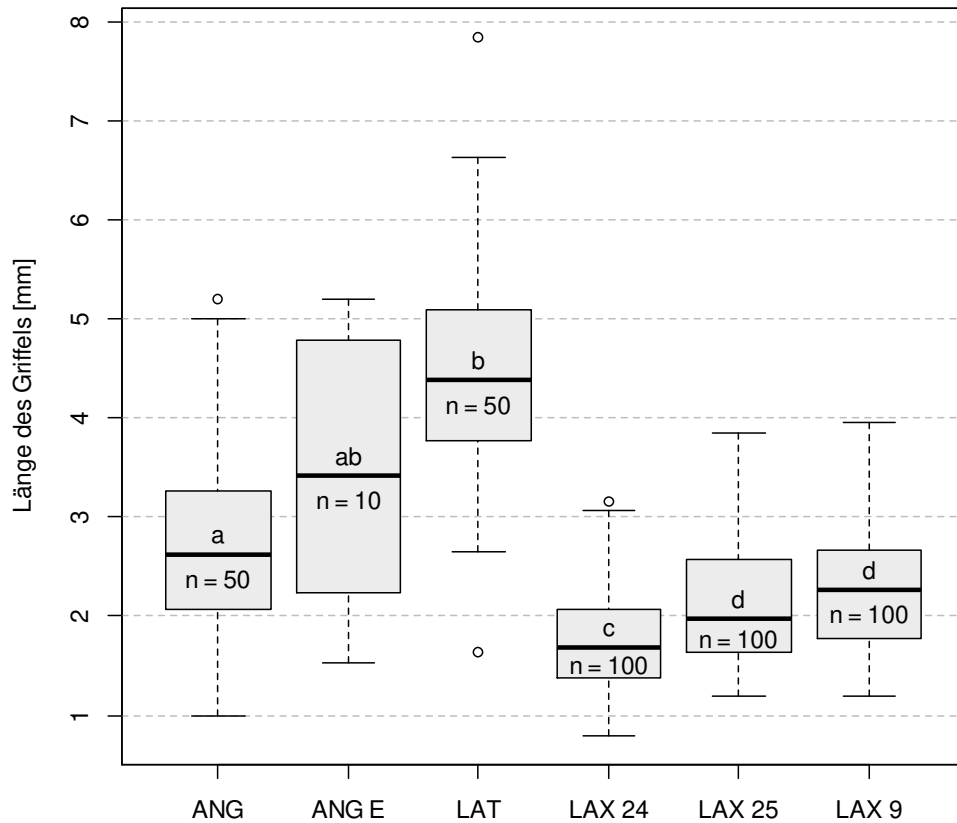


Abbildung 14: Länge des Griffels (inklusive der Narbe). Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

Abbildung 14 zeigt die Längen der Griffel (inklusive der Narbe) der verschiedenen Arten. Die Griffel von *T. latifolia* waren im Mittel am längsten. Die Streuung der Werte von LAX 24 ist in diesem Fall geringer, vor allem bei ANG E und LAT ist aber eine relativ große Streuung feststellbar.

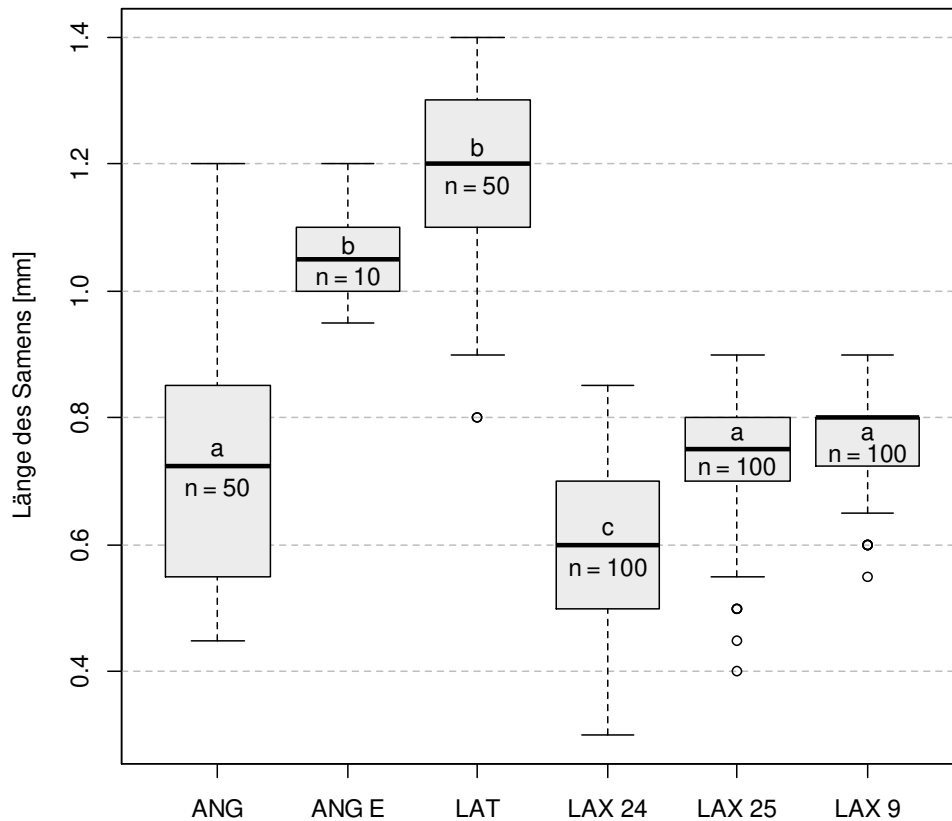


Abbildung 15: Länge des Samens. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

Auch die Länge der Samen (Abbildung 15) entspricht den bisherigen Beobachtungen. Die Werte von *T. latifolia* sowie des Kolbens E von *T. angustifolia* waren deutlich größer als die Werte der drei Populationen von *T. laxmannii*.

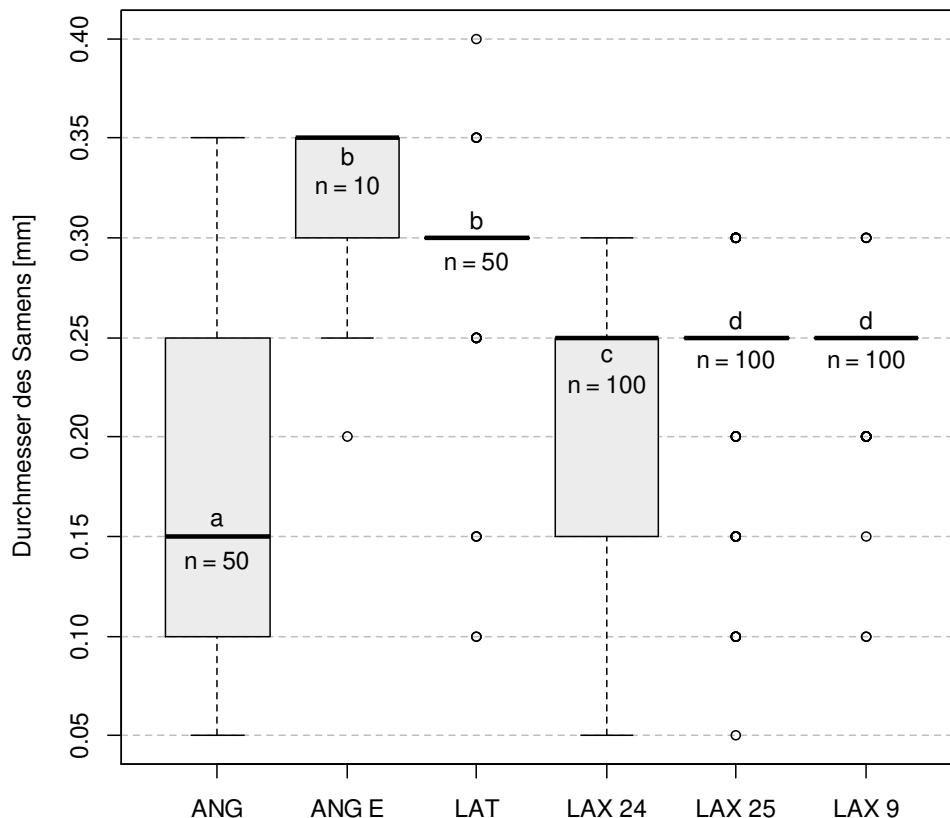


Abbildung 16: Durchmesser des Samens. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$). ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

Die Boxplots in der Abbildung 16, die den Durchmesser der Samen visualisieren, unterscheiden sich von den bisherigen, da nur wenige unterschiedliche Messwerte vorkommen. Die vermessenen Samen waren zwischen 0,05 und 0,40 mm dick. In diesem Fall lassen sich mit den Werten aus der Tabelle 1 sowie der Tabelle 2 bessere Aussagen treffen als mit Hilfe des Diagramms. Es zeigt sich, dass die Samen von *T. latifolia* im Mittel etwas dünner waren als diejenigen von ANG E. Noch etwas dünner waren die Samen von *T. laxmannii*.

Die Messung des Durchmessers der Samen liefert einen guten Hinweis darauf, ob diese vollständig entwickelt und somit keimfähig sind. Die meisten vermessenen Samen waren 0,25 mm dick. Samen mit einem sehr kleinen Durchmesser (0,15 mm oder weniger) waren häufig nicht vollständig entwickelt.

Die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen aller Maße der untersuchten Diasporen sind für die drei Arten in der Tabelle 1 zusammengefasst. Für alle gemessenen Werte gibt es signifikante Unterschiede zwischen den Diasporen von *T. latifolia* und *T. laxmannii*. Die Diasporen von *T. angustifolia* wurden bei diesem Vergleich aufgrund ihres zum Teil sehr schlechten Zustands nicht miteinbezogen. Die Tabelle 2 enthält nur die Werte der

Diasporen von *T. laxmannii* und ermöglicht einen Vergleich der drei Populationen bzw. Gewässer, aus denen die Kolben stammen. Bei den meisten Werten unterscheiden sich alle drei Populationen signifikant voneinander, nur bei der Länge der Griffel sowie dem Durchmesser der Samen ergibt die statistische Auswertung bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ keine signifikanten Unterschiede zwischen LAX 25 und LAX 9.

Tabelle 1: Maße aller *Typha*-Diasporen, getrennt nach Art. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$; nur *T. latifolia* und *T. laxmannii* wurden verglichen).

Art	<i>T. angustifolia</i> n = 50	<i>T. angustifolia</i> , nur Kolben E n = 10	<i>T. latifolia</i> n = 50	<i>T. laxmannii</i> n = 300
Diasporen Länge [mm]	6,46 ± 1,93	9,40 ± 0,79	12,85 ± 0,72 (a)	7,03 ± 1,41 (b)
Pappushaare Länge [mm]	6,29 ± 1,98	9,58 ± 0,56	11,36 ± 0,42 (a)	6,32 ± 1,54 (b)
Stiel Länge [mm]	2,96 ± 1,43	4,91 ± 1,20	7,22 ± 1,19 (a)	4,26 ± 1,23 (b)
Griffel Länge [mm]	2,77 ± 1,00	3,45 ± 1,31	4,46 ± 1,09 (a)	2,07 ± 0,64 (b)
Samen Länge [mm]	0,735 ± 0,208	1,060 ± 0,081	1,181 ± 0,135 (a)	0,703 ± 0,123 (b)
Samen Durchmesser [mm]	0,176 ± 0,091	0,315 ± 0,053	0,283 ± 0,059 (a)	0,227 ± 0,053 (b)

Tabelle 2: Maße der Diasporen von *Typha laxmannii*, getrennt nach Population bzw. Gewässer (Nummern 9, 24 und 25). Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Population/Gewässer	LAX 24 n = 100	LAX 25 n = 100	LAX 9 n = 100
Diasporen Länge [mm]	5,43 ± 1,27 (a)	7,55 ± 0,43 (b)	8,09 ± 0,49 (c)
Pappushaare Länge [mm]	4,54 ± 1,35 (a)	6,94 ± 0,44 (b)	7,48 ± 0,49 (c)
Stiel Länge [mm]	3,08 ± 1,12 (a)	4,67 ± 0,79 (b)	5,03 ± 0,70 (c)
Griffel Länge [mm]	1,74 ± 0,50 (a)	2,16 ± 0,65 (b)	2,30 ± 0,62 (b)
Samen Länge [mm]	0,610 ± 0,131 (a)	0,731 ± 0,092 (b)	0,769 ± 0,077 (c)
Samen Durchmesser [mm]	0,209 ± 0,064 (a)	0,232 ± 0,054 (b)	0,242 ± 0,030 (b)

3.2 Gewicht und Anzahl der Diasporen

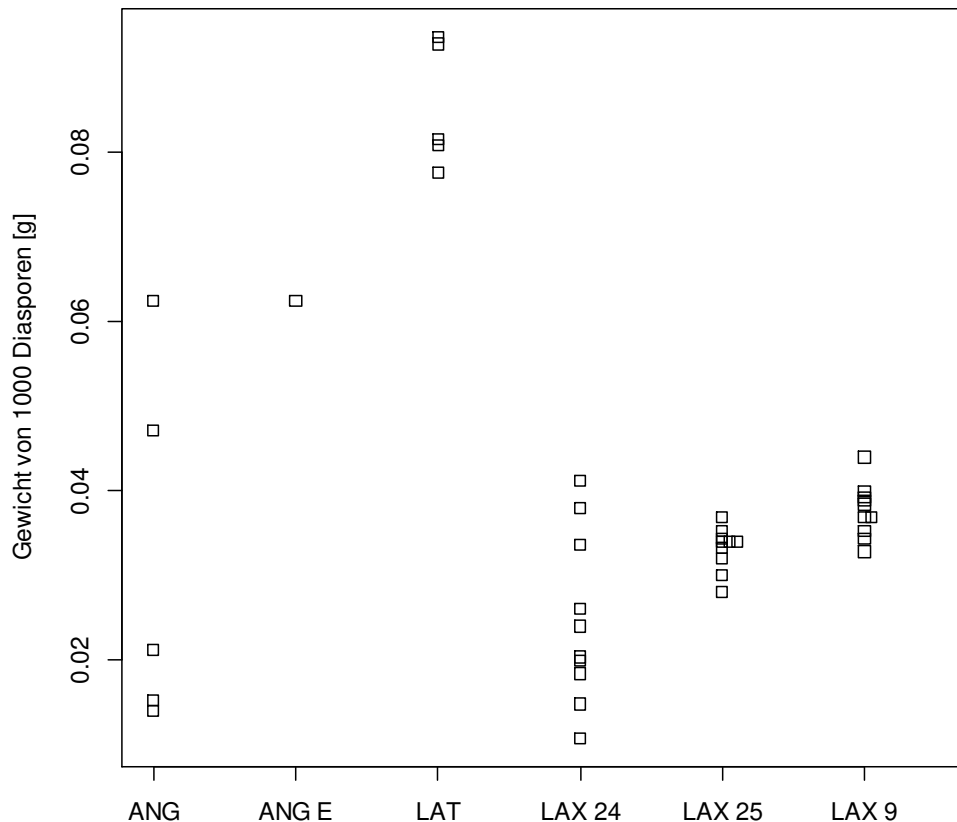


Abbildung 17: Gewicht von jeweils 1.000 Diasporen. ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

Abbildung 17 zeigt das Gewicht von jeweils 1.000 Diasporen eines Kolbens. Dieses wurde aus dem Gewicht der 250 Diasporen, die pro Kolben gewogen wurden, berechnet, um eine bessere Vergleichbarkeit mit Literaturangaben zu ermöglichen. Da längere Diasporen auch ein höheres Gewicht haben, ähnelt dieses Diagramm stark den Boxplots in der Abbildung 11. Die arithmetischen Mittelwerte und die Standardabweichungen für die drei untersuchten Arten sind in der Tabelle 3 und für die drei Populationen von *T. laxmannii* in der Tabelle 4 dargestellt. Die Diasporen von *T. latifolia* waren die schwersten, gefolgt von denen des Kolbens E von *T. angustifolia*. Deutlich leichter als diese waren die Diasporen von *T. laxmannii* aus allen drei Gewässern. Die Diasporen der Kolben aus dem Gewässer 9 unterscheiden sich dabei signifikant von denen der anderen beiden Gewässer.

Tabelle 3: Gewicht von jeweils 1.000 Diasporen, getrennt nach Art. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$; nur *T. latifolia* und *T. laxmannii* wurden verglichen).

Art	<i>T. angustifolia</i> n = 5	<i>T. angustifolia</i> , nur Kolben E n = 1	<i>T. latifolia</i> n = 5	<i>T. laxmannii</i> n = 30
Gewicht von jeweils 1000 Diasporen [g]	0,032 ± 0,022	0,062	0,085 ± 0,007 (a)	0,032 ± 0,008 (b)

Tabelle 4: Gewicht von jeweils 1.000 Diasporen von *Typha laxmannii*, getrennt nach Population bzw. Gewässer (Nummern 9, 24 und 25). Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Art	LAX 24 n = 10	LAX 25 n = 10	LAX 9 n = 10
Gewicht von jeweils 1000 Diasporen [g]	0,025 ± 0,010 (a)	0,033 ± 0,003 (a)	0,038 ± 0,003 (b)

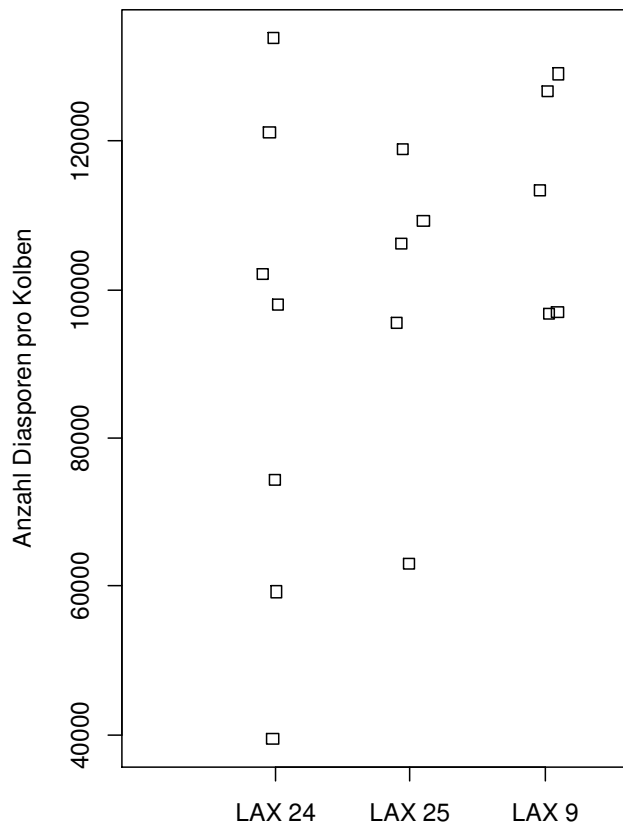


Abbildung 18: Anzahl Diasporen pro Kolben der drei Populationen von *Typha laxmannii*. 9, 24 und 25 sind die Nummern der Gewässer.

Die Anzahl der Diasporen pro Kolben ist auf der Abbildung 18 dargestellt. Die Berechnungen haben ergeben, dass die Kolben von *T. laxmannii* im Mittel knapp 100.000 Diasporen enthielten. Die Mittelwerte der einzelnen Populationen aus den drei Gewässern lagen bei rund 113.000 (LAX 9), 99.000 (LAX 25) und 90.000 (LAX 24). Die Streuung der Werte ist bei LAX 24 größer als bei den beiden anderen Populationen.

3.3 Ergebnisse der Keimversuche

Abbildung 19 zeigt die Keimrate des Lichtkeimversuchs, also den Prozentsatz der Samen, die bis zum Ende des Versuchs (23 Tage nach dem Start) gekeimt waren. Die Keimrate der 40 Samen des Kolbens E von *T. angustifolia* ist auch in diesem Diagramm zusätzlich dargestellt, da sie sich deutlich von der Keimrate der restlichen untersuchten Samen dieser Art unterscheidet. Die Samen des Kolbens E wiesen mit 95% die höchste Keimrate des Versuchs

auf, 38 der 40 Samen sind gekeimt. Von den anderen vier Kolben (A bis D) sind hingegen nur insgesamt neun Samen gekeimt, das entspricht einer Keimrate von rund 6%. Die gesamte Keimrate für alle Samen von *T. angustifolia* betrug rund 24%.

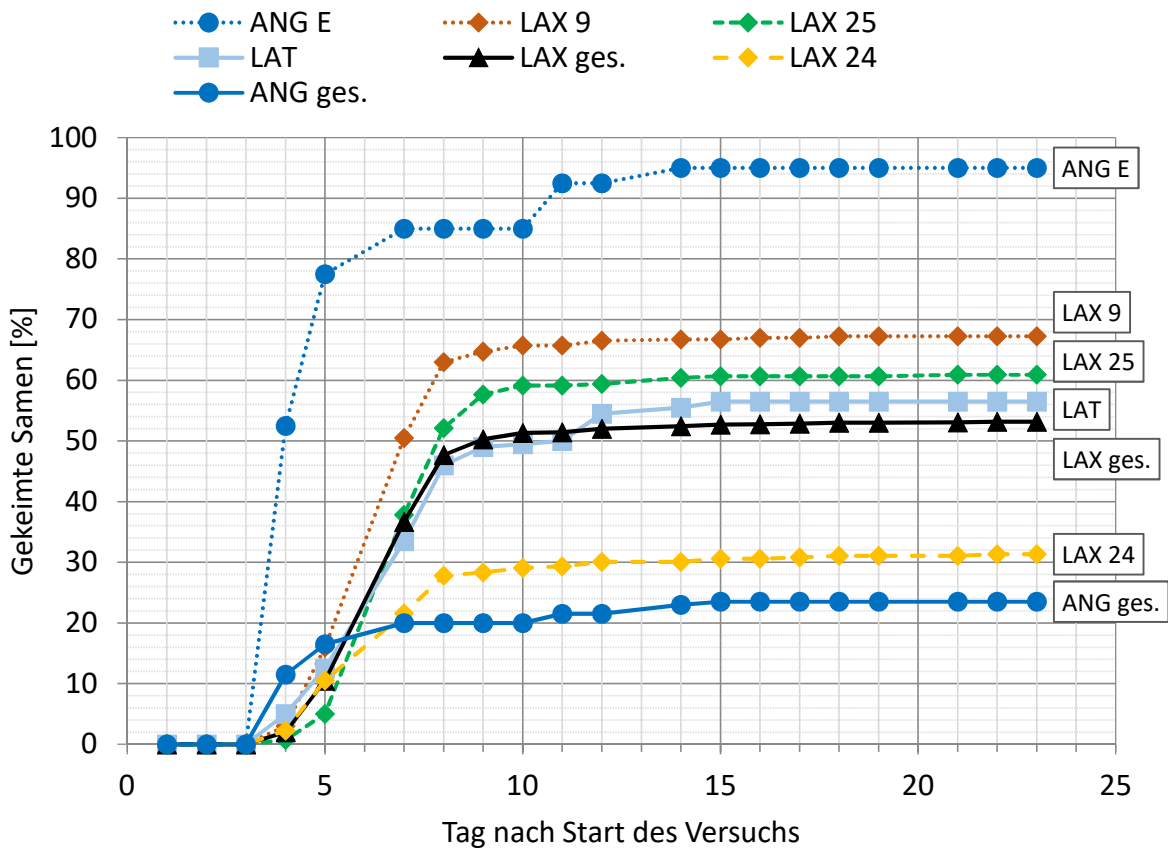


Abbildung 19: Keimrate des Lichtkeimversuchs im Zeitverlauf. ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

Die gesamte Keimrate für *T. latifolia* lag bei rund 57%. Von den Samen von *T. laxmannii* aus allen drei Gewässern sind bis zum Ende des Versuchs rund 53% gekeimt. Die Keimraten der Samen aus den drei verschiedenen Populationen unterscheiden sich allerdings deutlich. Während von den Samen aus dem Gewässer 9 rund 67% und aus dem Gewässer 25 rund 61% gekeimt sind, liegt dieser Wert für das Gewässer 24 nur bei rund 31%. Auch auf Ebene der Populationen gibt es eine große Streuung der Werte. So wiesen zwei Kolben von *T. laxmannii* aus dem Gewässer 24 Keimraten von 75% und rund 68% auf. Gleichzeitig gab es aber auch zwei Kolben, von denen kein einziger der Samen gekeimt ist.

Um die Keimfähigkeit besser beurteilen zu können, sind in der Abbildung 20 die Keimraten in Bezug auf die einzelnen Kolben am Ende des Versuchs dargestellt. In diesem Diagramm ist beispielsweise die große Streuung der Werte von LAX 24 ersichtlich. Aber auch bei LAX 9 gab es einen Kolben mit einer sehr niedrigen Keimrate, die deutlich von den anderen Werten dieses Gewässers abwich. Die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen sind in

der Tabelle 5 für die drei Arten und in der Tabelle 6 für die drei Populationen von *T. laxmannii* zu finden. Zwischen *T. latifolia* und *T. laxmannii* gab es keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Keimrate. Ein anderes Bild zeigt sich bei Betrachtung der Unterschiede zwischen den drei Populationen von *T. laxmannii*. Die Samen aus dem Gewässer 9 wiesen eine signifikant höhere Keimrate auf als die Samen aus dem Gewässer 24. Die Keimfähigkeit korrelierte dabei mit der Größe der Diasporen. Die Diasporen aus dem Gewässer 24 waren die kürzesten und die Samen aus dieser Population wiesen auch die geringste Keimrate auf.

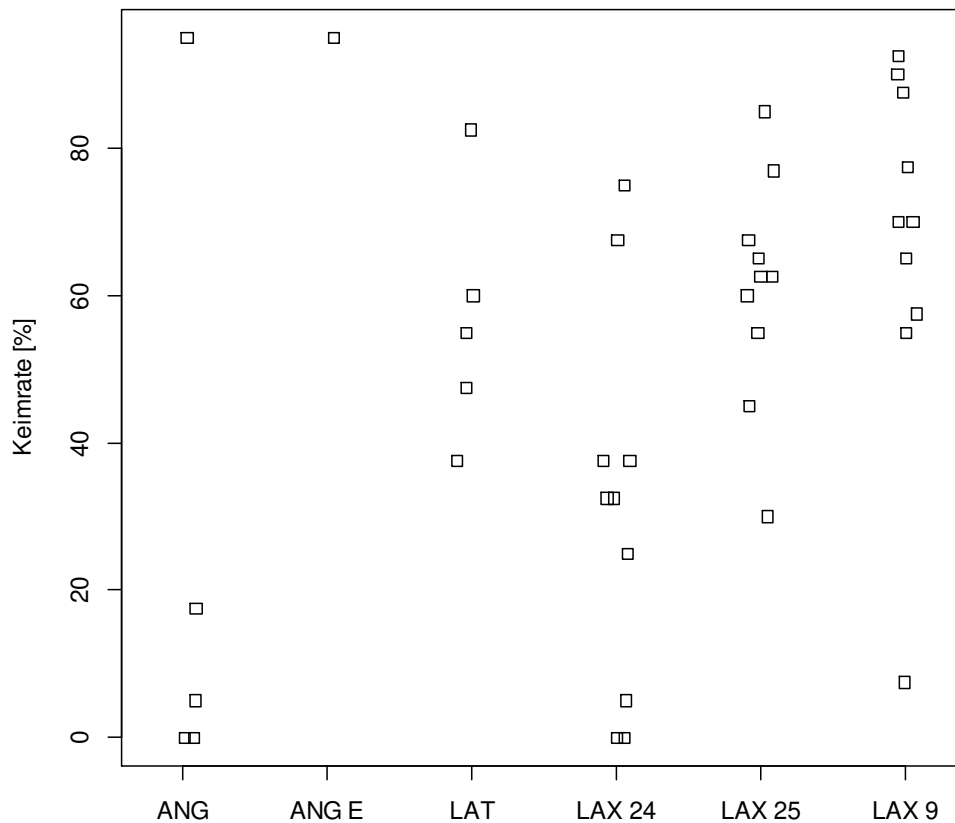


Abbildung 20: Keimrate am Ende des Lichtkeimversuchs. ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

Tabelle 5: Keimrate am Ende des Lichtkeimversuchs, getrennt nach Art. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. „ns“ = kein signifikanter Unterschied zwischen *T. latifolia* und *T. laxmannii* (bei $p < 0,05$).

Art	<i>T. angustifolia</i> n = 5	<i>T. angustifolia</i> , nur Kolben E n = 1	<i>T. latifolia</i> n = 5	<i>T. laxmannii</i> n = 30
Keimrate [%]	23,5 ± 40,6	95,0	56,5 ± 16,8 (ns)	53,1 ± 26,9 (ns)

Tabelle 6: Keimrate von *Typha laxmannii* am Ende des Lichtkeimversuchs, getrennt nach Population bzw. Gewässer (Nummern 9, 24 und 25). Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Art	LAX 24 n = 10	LAX 25 n = 10	LAX 9 n = 10
Keimrate [%]	31,3 ± 25,8 (a)	60,9 ± 15,4 (ab)	67,3 ± 24,7 (b)

Abbildung 21 zeigt neben den Ergebnissen des Drucktests am Ende des Keimversuchs auch, wann die Samen der unterschiedlichen Arten bzw. Populationen gekeimt sind. Die Samen des Kolbens E von *T. angustifolia* keimten bereits sehr früh zu einem hohen Prozentsatz. Von allen Samen von *T. latifolia* keimten ca. 34% bis inklusive des 7. Tages nach dem Start des Versuchs und 23% danach, bei *T. laxmannii* waren es ca. 37% und 17%. Von den Samen, die nicht keimten, waren bei *T. latifolia* die meisten noch fest, während von den Samen von *T. laxmannii* ein größerer Teil weich war und mit einer Pinzette leicht zerdrückt werden konnte. Die bereits beschriebenen Unterschiede zwischen den drei Populationen von *T. laxmannii* werden auch in diesem Diagramm deutlich.

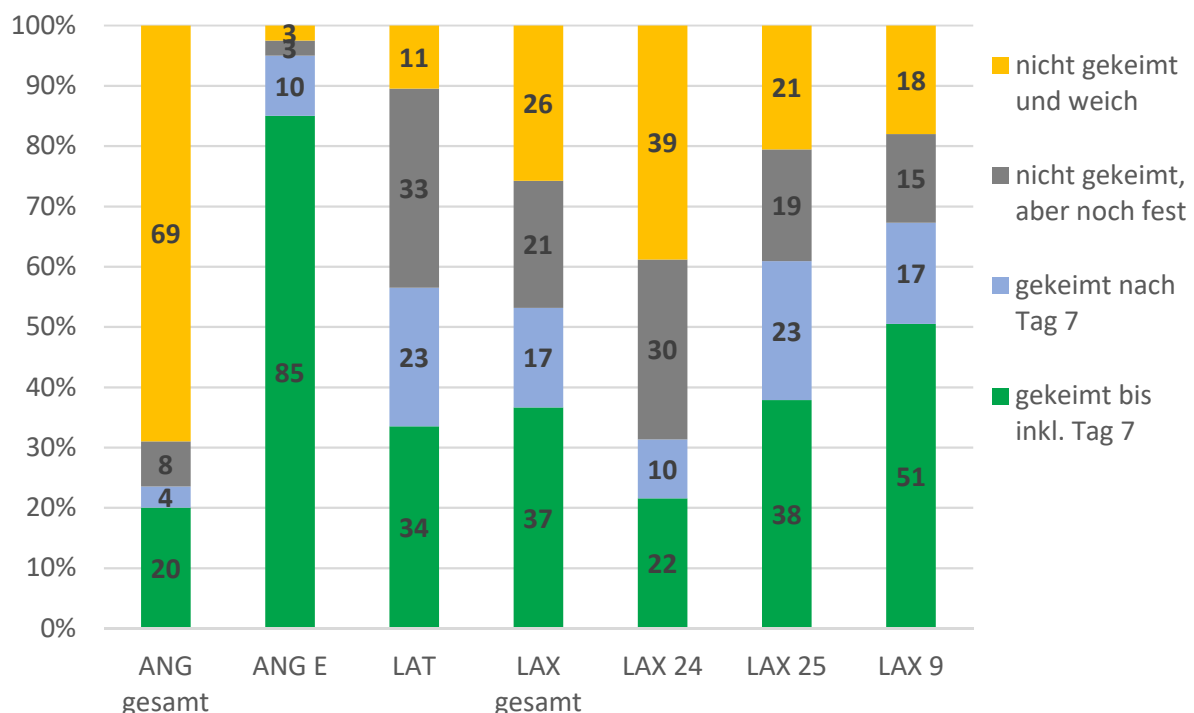


Abbildung 21: Keimrate der Samen in % während des Lichtkeimversuchs und Ergebnisse des Drucktests. ANG = *T. angustifolia* (ANG E = nur Kolben E); LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer).

Die Ergebnisse des Dunkelkeimversuchs 1 sind in der Abbildung 22 dargestellt. Die dicke vertikale Linie kennzeichnet den Tag 14, an dem die Alufolie von den Petrischalen entfernt wurde und die Samen zum ersten Mal dem Licht ausgesetzt wurden. Während der Phase der kompletten Dunkelheit ist kein einziger der Samen gekeimt, die Keimung des ersten Samens (dabei handelte es sich um ANG A) erfolgte erst nach dem Öffnen am Tag 16. Ab dem Tag 18 setzte auch bei den Samen der anderen Kolben teilweise die Keimung ein. Auffallend ist dabei die Entstehung von zwei Gruppen mit einer sehr unterschiedlichen Entwicklung der Keimraten. Während bei den Kolben ANG E, LAX 9/10 sowie LAX 25/18 die Keimrate rasch anstieg und am Ende des Versuchs relativ viele Samen gekeimt sind, blieben die Keimraten der restlichen Kolben auf einem niedrigen Niveau.

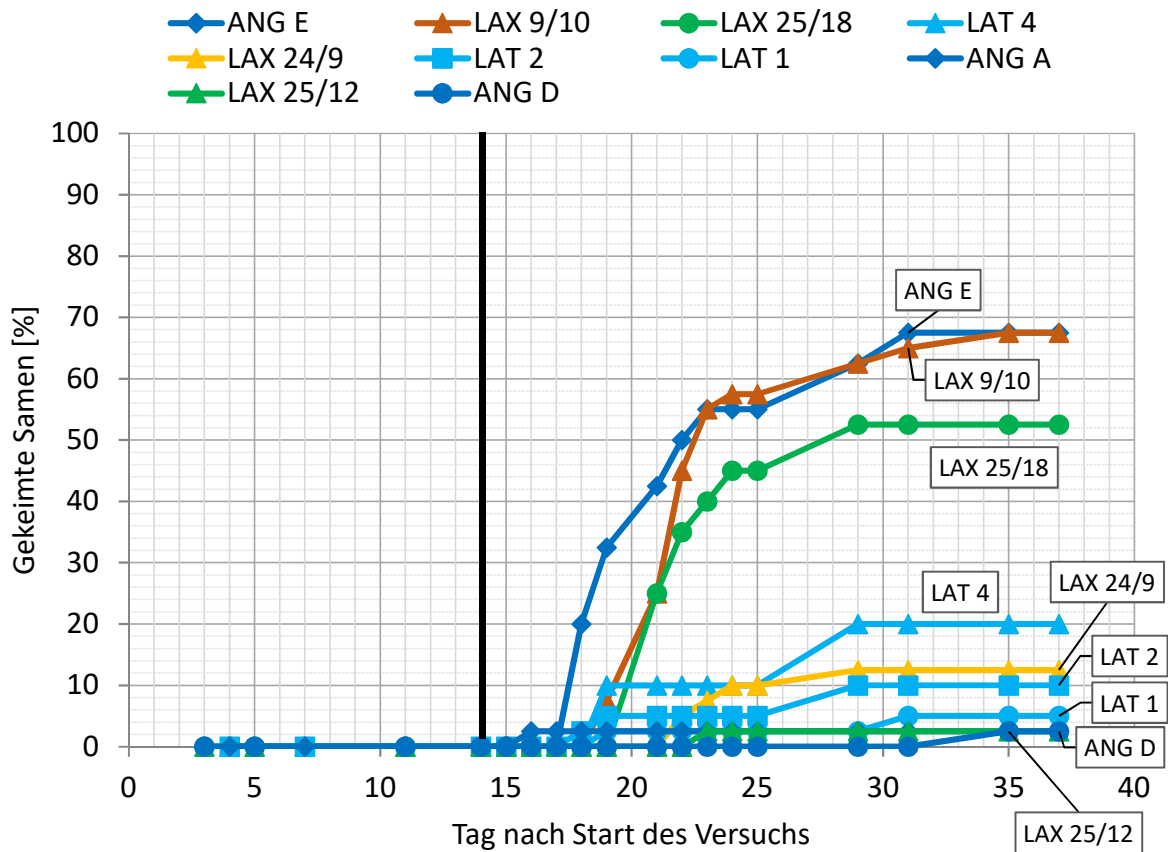


Abbildung 22: Keimrate des Dunkelkeimversuchs 1. ANG = *T. angustifolia* (Kolben A, D, E); LAT = *T. latifolia* (Kolben 1, 2, 4); LAX = *T. laxmannii* (mit Nummer des Gewässers/Nummer des Kolbens).

Tabelle 7: Unterschiede der Keimraten zwischen dem Lichtkeimversuch (LV) und dem Dunkelkeimversuch 1 (DV1). ANG = *T. angustifolia* (Kolben A, D, E); LAT = *T. latifolia* (Kolben 1, 2, 4); LAX = *T. laxmannii* (mit Nummer des Gewässers/Nummer des Kolbens).

	LAX 25/12	LAX 25/18	LAX 9/10	LAX 24/9	LAT 1	LAT 2	LAT 4	ANG A	ANG D	ANG E
Keimrate LV [%]	55	63	78	33	55	48	60	18	5	95
Keimrate DV1 [%]	3	53	68	13	5	10	20	3	3	68

Die Tabelle 7 zeigt, wie sich die Keimraten am Ende des Dunkelkeimversuchs 1 von denen des Lichtkeimversuchs unterscheiden. Die Kolben ANG E, LAX 9/10 und LAX 25/18, die beim Dunkelkeimversuch die höchsten Keimraten aufwiesen, zeigten auch beim Lichtkeimversuch die höchsten Werte. Die Unterschiede zu den Keimraten der anderen Kolben sind beim Lichtkeimversuch aber weitaus weniger deutlich. Grundsätzlich blieben die Keimraten aller zehn untersuchten Kolben beim Dunkelkeimversuch unter den Werten des Lichtkeimversuchs. Trotz der Lichteinwirkung nach dem Öffnen und den ansonsten gleichen Bedingungen erreichten die Samen nach der Phase der kompletten Dunkelheit nicht die gleiche Keimfähigkeit wie beim Lichtkeimversuch.

Für den Dunkelkeimversuch 2 wurden nur drei Kolben ausgewählt. In der Abbildung 23 sind die Ergebnisse zu sehen. Vor der vollständigen Entfernung der Alufolie am Tag 17 keimte nur ein einzelner Samen. Nach dem Öffnen stieg die Keimrate bei allen drei Kolben an, und zwar schneller als beim Dunkelkeimversuch 1. Am Ende lag die Keimrate der Samen der drei Kolben bei 90% (ANG E), 85% (LAT 3) sowie rund 68% (LAX 9/8). Für den Lichtkeimversuch betrug sie im Vergleich dazu 95% (ANG E), rund 83% (LAT 3) sowie rund 93% (LAX 9/8). Die Unterschiede bei der Keimrate waren somit nicht so ausgeprägt wie beim Dunkelkeimversuch 1.

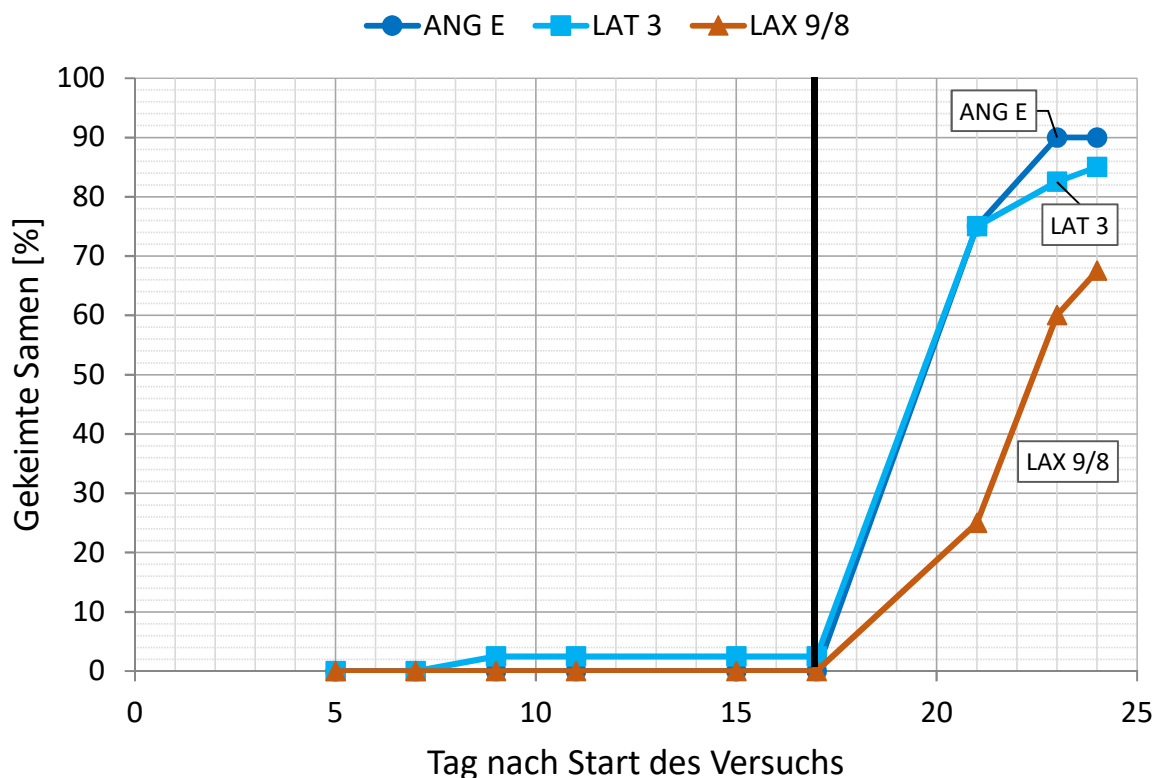


Abbildung 23: Keimrate des Dunkelkeimversuchs 2. ANG = *T. angustifolia* (Kolben E); LAT = *T. latifolia* (Kolben Nr. 3); LAX = *T. laxmannii* (Kolben Nr. 8 aus dem Gewässer 9).

3.4 Ergebnisse des Wachstumsversuchs

Abbildung 24 zeigt die Höhe der Hauptsprosse der ursprünglichen eingesetzten Mutterpflanzen zu den sechs Messzeitpunkten. Bei den Daten handelt es sich jeweils um die arithmetischen Mittelwerte der drei untersuchten Arten und für *T. laxmannii* zusätzlich um die Mittelwerte der Pflanzen aus den drei verschiedenen Populationen bzw. Gewässern. Zum Zeitpunkt des Einsetzens in die Töpfe (Messung Nr. 0 am 7., 8. und 9. Mai) waren die Individuen von *T. latifolia* mit im Mittel rund 32,4 cm bereits deutlich größer als die Individuen der anderen beiden Arten, deren mittlere Höhe bei rund 25,5 cm (*T. laxmannii*) beziehungsweise 24,7 cm (*T. angustifolia*) lag. Zwischen den Messungen 0 und 1 (29. Mai) zeigte *T. angustifolia* das höchste Wachstum, während bei den Individuen von *T. laxmannii*

nur ein relativ geringes Wachstum feststellbar war. Die größten Pflanzen blieben weiterhin die Individuen von *T. latifolia*.

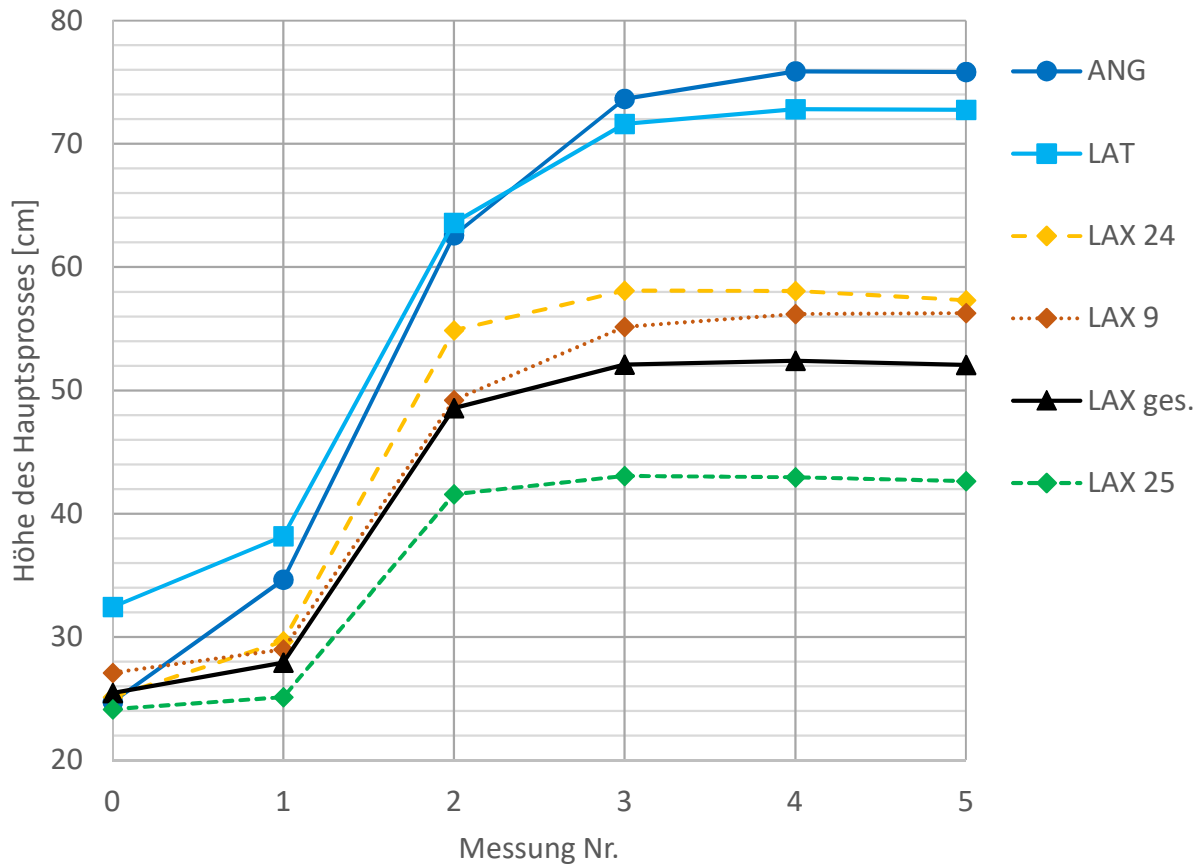


Abbildung 24: Mittlere Höhe der Hauptsprosse (Mutterpflanze) zu den Messzeitpunkten. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (9, 24, 25 = Nummern der Gewässer; ges. = Mittelwert aller Gewässer).

Zum Zeitpunkt 2 (25. Juni) waren die Hauptsprosse von *T. angustifolia* im Vergleich zu denen von *T. latifolia* im Mittel nur noch ca. 1 cm kleiner. Generell zeigen alle drei Arten zwischen den Messungen 1 und 2 das größte Wachstum der Hauptsprosse, *T. angustifolia* erreichte dabei im Mittel einen Wert von ca. 1 cm pro Tag. Danach schwächte sich das Wachstum ab, vor allem bei *T. laxmannii*. Vom Messzeitpunkt 3 bis zum Messzeitpunkt 4 stagnierte das Wachstum bei *T. laxmannii*, während die Höhe der Individuen von *T. latifolia* und *T. angustifolia* noch etwas zunahm. Ab der Messung 3 überholten die Individuen von *T. angustifolia* die Individuen von *T. latifolia* und erreichten im Mittel die größte Höhe. Das Vertrocknen der Blattspitzen bei einigen Pflanzen im Sommer führte dazu, dass die Höhe der Sprosse vom Zeitpunkt 4 zum Zeitpunkt 5 teilweise minimal abnahm. Bei der Messung Nr. 5 betragen die mittleren Höhen der Hauptsprosse rund 75,8 cm für *T. angustifolia*, 72,8 cm für *T. latifolia* und 52,1 cm für die Pflanzen von *T. laxmannii* aus allen drei Gewässern.

Beim Vergleich der Pflanzen von *T. laxmannii* aus den drei verschiedenen Populationen lassen sich wesentliche Unterschiede feststellen. Die Individuen aus dem Gewässer 24 wuchsen zu

Beginn am schnellsten, näherten sich am Ende des Versuchs aber wieder an die Individuen aus dem Gewässer 9 an. Die Individuen aus dem Gewässer 25 waren während des gesamten Versuchszeitraums die kleinsten. Zum Zeitpunkt 5 lagen die mittleren Höhen der Hauptspresse bei rund 57,3 cm (Gewässer 24), 56,3 cm (Gewässer 9) sowie 42,6 cm (Gewässer 25).

Abbildung 25 zeigt die Höhen der Hauptspresse zum Messzeitpunkt 5 (am Ende des Versuchs) getrennt nach Art bzw. Gewässer und Wachstumsbedingung. Jeweils vier Boxplots stehen für die Ergebnisse einer Art beziehungsweise der Pflanzen eines der drei Gewässer bei *T. laxmannii*.

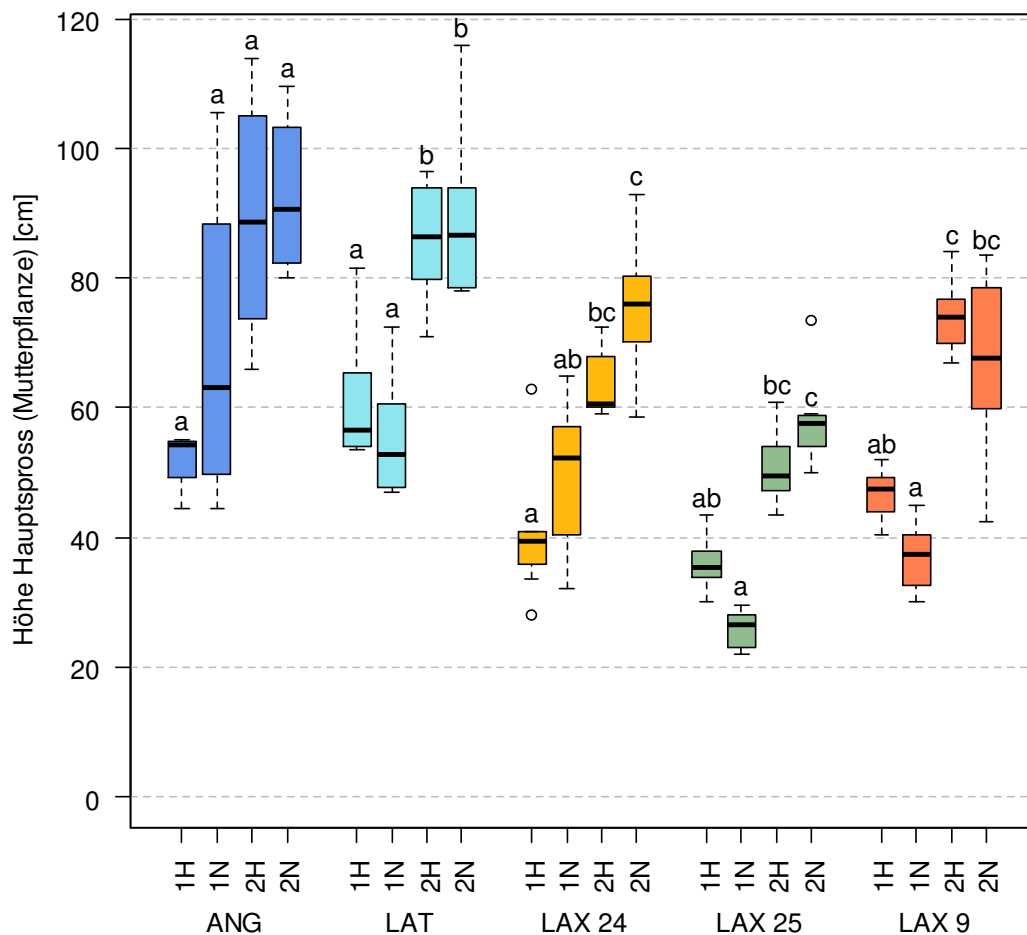


Abbildung 25: Höhe des Hauptspresses (Mutterpflanze) nach Art/Population und Wachstumsbedingung zum Messzeitpunkt 5. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer). Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt. „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede innerhalb einer Art bzw. einer Population ($p < 0,05$). Anzahl der Werte pro Boxplot: ANG: 4; LAT: 8; LAX (pro Gewässer): 8.

Für *T. angustifolia* zeigt die statistische Auswertung keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Wachstumsbedingungen. Dabei muss allerdings auch die geringe Anzahl an Werten beachtet werden, da für diese Art nur vier Pflanzen pro Wachstumsbedingung untersucht wurden. Für *T. latifolia* zeigen sich signifikante Unterschiede in Bezug auf den Nährstoffgehalt

des Substrats, nicht jedoch in Bezug auf die Wasserhöhe. Unabhängig von dieser wiesen die Pflanzen dieser Art in den Töpfen mit dem nährstoffreicheren TKS 2 signifikant höhere Hauptsprosse auf. Bei Betrachtung der drei Populationen von *T. laxmannii* zeigt sich kein einheitliches Muster. Grundsätzlich waren aber auch bei dieser Art die Hauptsprosse bei einem größeren Nährstoffangebot höher.

Die Anzahl der (oberirdischen) Nebensprosse, die die Mutterpflanzen über Rhizomausläufer gebildet hatten, ist in der Abbildung 26 zu den sechs Messzeitpunkten dargestellt. *T. laxmannii* hat während des Versuchszeitraums deutlich mehr Nebensprosse gebildet als die zwei heimischen Arten. Wieder sind große Unterschiede zwischen den Pflanzen von *T. laxmannii* aus den drei verschiedenen Populationen feststellbar. Während die Individuen aus den Gewässern 24 und 25 zum Zeitpunkt 5 durchschnittlich etwas mehr als sechs Nebensprosse gebildet hatten, betrug deren mittlere Anzahl für die Individuen aus dem Gewässer 9 nur rund 3,5. Dieser Wert lag dennoch deutlich über denen von *T. latifolia* (rund 2,2) und *T. angustifolia* (rund 1,8).

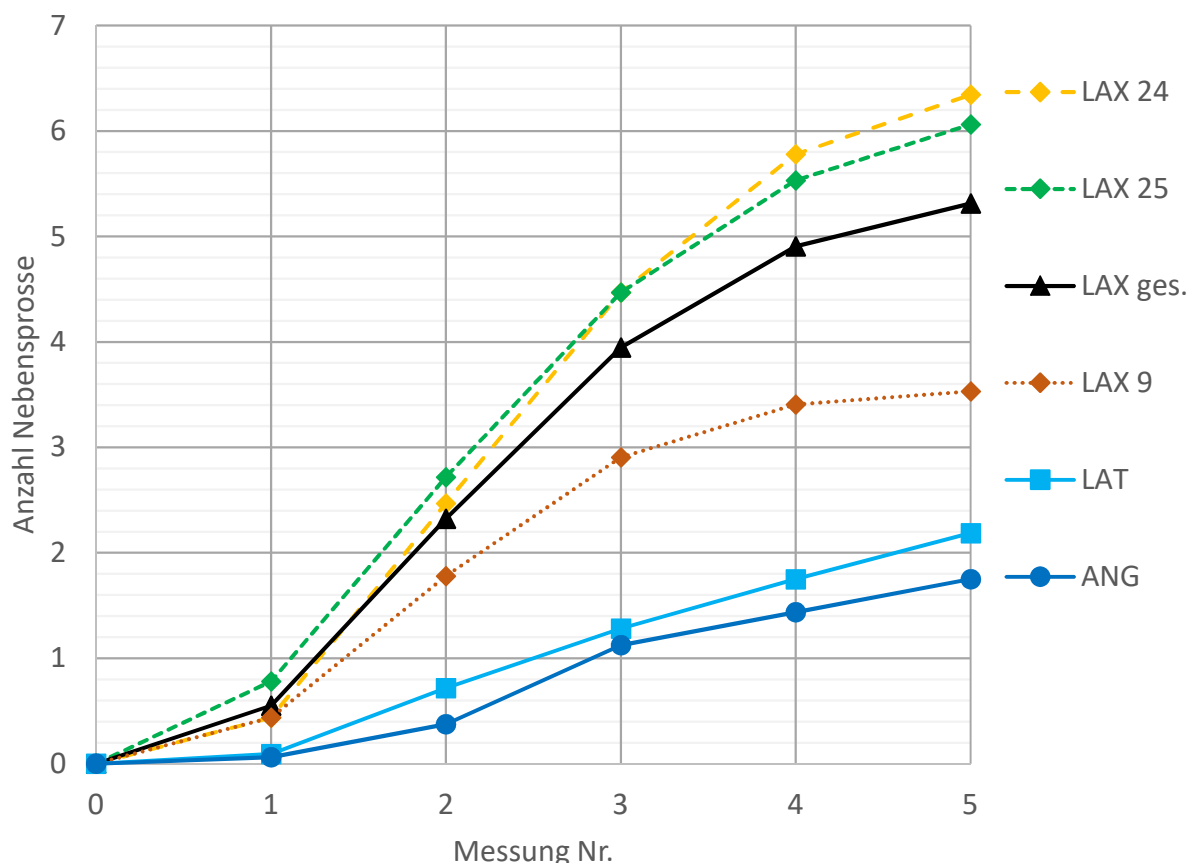


Abbildung 26: Mittlere Anzahl der Nebensprosse zu den Messzeitpunkten. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (9, 24, 25 = Nummern der Gewässer; ges. = Mittelwert aller Gewässer).

Die Anzahl der zum Messzeitpunkt 5 vorhandenen Nebensprosse bei den unterschiedlichen Wachstumsbedingungen ist auf der Abbildung 27 zu sehen. In den Daten enthalten, aber nicht dargestellt, ist ein Ausreißer. Dabei handelt es sich um eine Pflanze von *T. laxmannii* aus dem

Gewässer 24 bei der Wachstumsbedingung 1H, die am Ende des Wachstumsversuchs 19 Nebensprosse aufwies. Für *T. angustifolia* sowie die Pflanzen von *T. laxmannii* aus den Gewässern 9 und 24 zeigen die Daten keine signifikanten Unterschiede. Diese Pflanzen haben bei allen Wachstumsbedingungen ähnlich viele Nebensprosse gebildet. Die Pflanzen aus dem Gewässer 25 bildeten hingegen bei einem erhöhten Nährstoffangebot (TKS 2) signifikant mehr Nebensprosse aus. Für *T. latifolia* ergibt sich eine Signifikanz nur zwischen der Wachstumsbedingung 2H und den restlichen drei Wachstumsbedingen. Die statistische Auswertung hat außerdem gezeigt, dass die Wasserhöhe in keinem Fall einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Nebensprosse hatte.

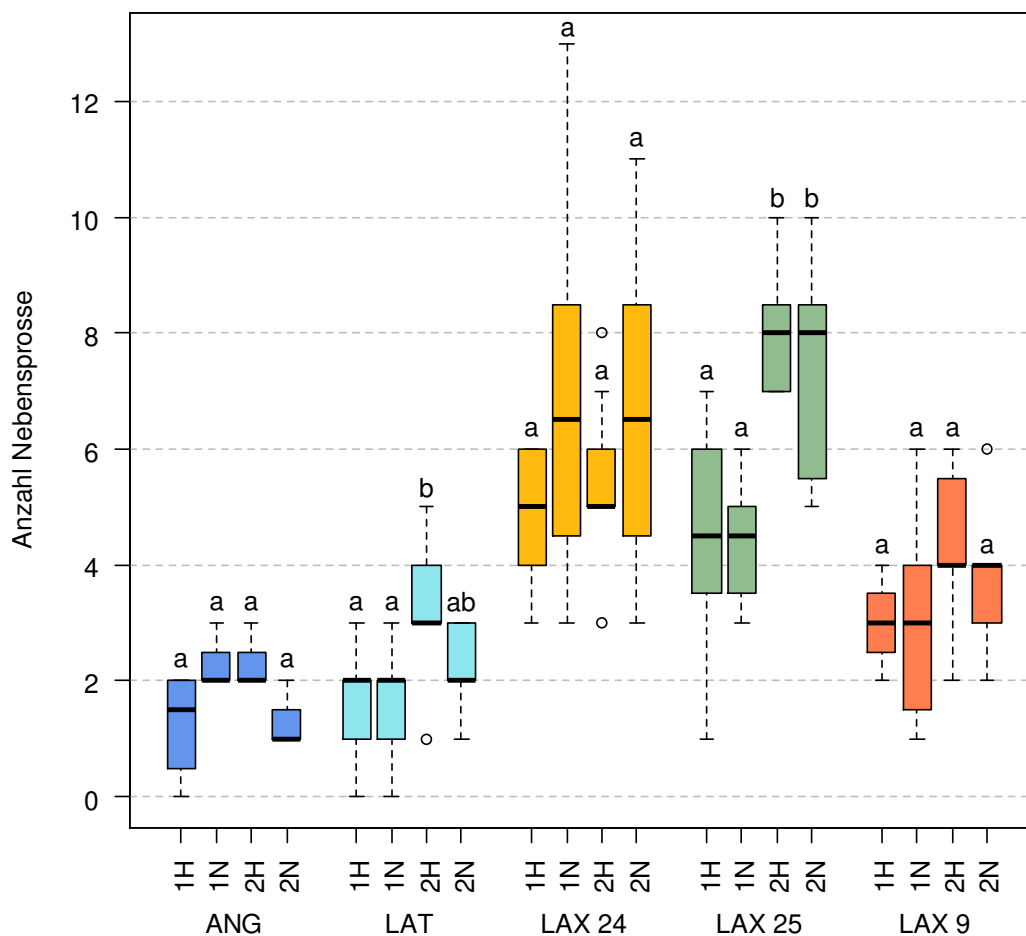


Abbildung 27: Anzahl der gebildeten Nebensprosse nach Art/Population und Wachstumsbedingung zum Messzeitpunkt 5. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer). Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt. „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede innerhalb einer Art bzw. einer Population ($p < 0,05$). Ein Ausreißer (19) bei LAX 24 (1H) ist nicht dargestellt. Anzahl der Werte pro Boxplot: ANG: 4; LAT: 8; LAX (pro Gewässer): 8.

Die mittlere Anzahl an unterirdischen Trieben, die von einer Pflanze in einem Topf gebildet wurden, ist auf der Abbildung 28 zu sehen. Die Werte weisen eine Ähnlichkeit zur Anzahl der oberirdischen Nebensprosse auf. Die meisten Triebe hat *T. laxmannii* gebildet, der

arithmetische Mittelwert für alle Pflanzen dieser Art liegt bei rund 14,8. Die Pflanzen aus den Gewässern 24 (rund 16,3 Triebe) und 25 (rund 16,4 Triebe) haben während des Versuchszeitraums mehr Triebe ausgebildet als die Pflanzen aus dem Gewässer 9 (rund 11,8 Triebe). Die Werte der beiden anderen Arten sind mit rund 6,1 Trieben für *T. angustifolia* und rund 4,8 Trieben für *T. latifolia* deutlich geringer.

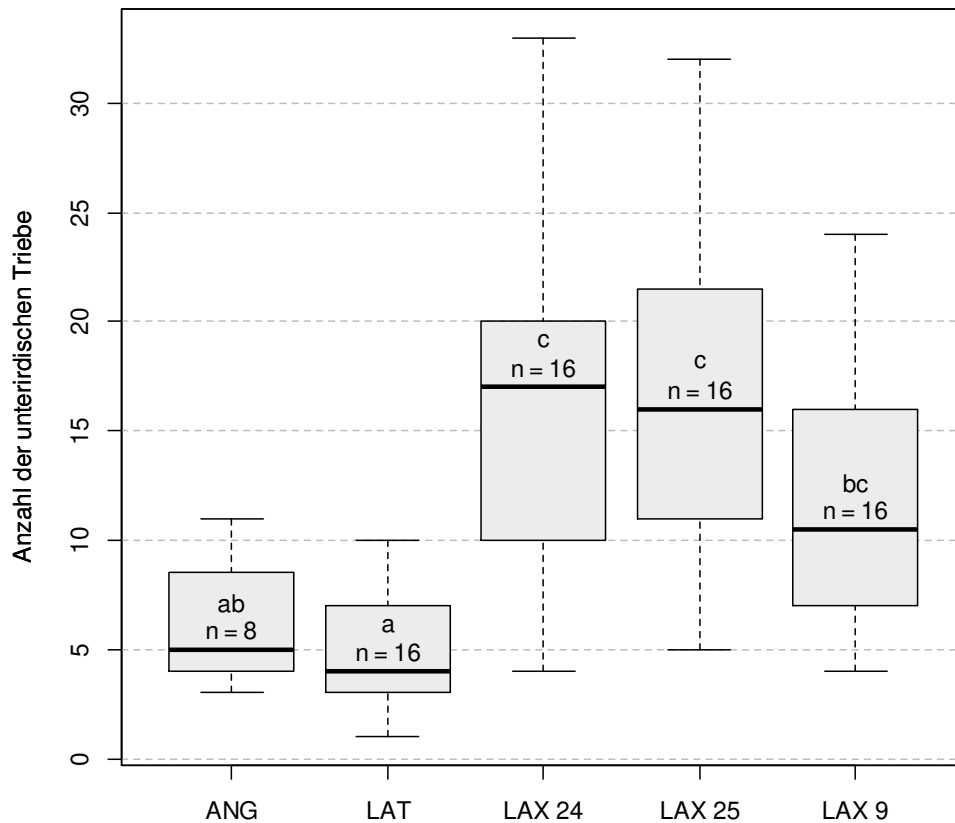


Abbildung 28: Mittlere Anzahl der unterirdischen Triebe pro Pflanze/Topf. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer). Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Die getrennte Messung des Trockengewichts der ober- sowie der unterirdischen Pflanzenteile ermöglicht die Berechnung des Verhältnisses dieser Werte. Dadurch lässt sich feststellen, ob sich die Pflanzen einer Art bzw. einer Population in der Verteilung ihrer Biomasse unterscheiden. Abbildung 29 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnung, bei der das Gewicht der unterirdischen Teile durch das Gewicht der oberirdischen Teile dividiert wurde. Bei allen Pflanzen des Wachstumsversuchs war das Trockengewicht der unterirdischen Pflanzenteile höher als das der oberirdischen.

Das Verhältnis des Trockengewichts unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Pflanzen von *T. angustifolia* und *T. latifolia*. Es betrug für *T. angustifolia* im Mittel rund 2,26, für *T. latifolia* rund 2,34 und für alle Pflanzen von *T. laxmannii* rund 2,09. Signifikante Unterschiede zeigen sich allerdings zwischen den drei Populationen von *T. laxmannii* und

teilweise auch zwischen diesen und den beiden anderen Arten. Für die drei Populationen lagen die mittleren Werte bei rund 2,05 (LAX 24), 2,51 (LAX 25) und 1,72 (LAX 9).

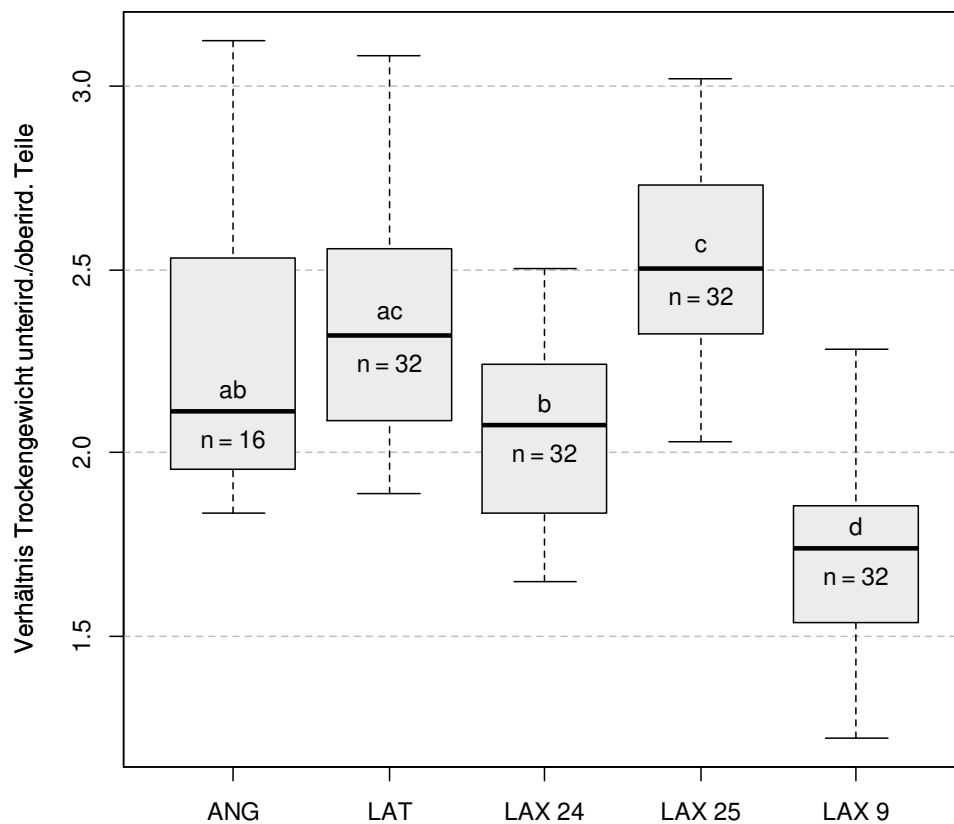


Abbildung 29: Verhältnis des Trockengewichts der unterirdischen zu den oberirdischen Pflanzenteile. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer). Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Tabelle 8: Einfluss verschiedener Faktoren auf das Trockengewicht (gesamte Pflanze). Berechnung mit mehrfaktoriellen Varianzanalysen. Signifikanz: *** $p < 0,001$; * $p < 0,05$; „ns“ = nicht signifikant.

Faktor	F-Wert (mit Signifikanz), alle Pflanzen (n = 144)	F-Wert (mit Signifikanz), ohne Ausreißer (n = 137)
Art	13,86 (***)	15,34 (***)
Substrat	98,28 (***)	170,61 (***)
Wasserhöhe	1,44 (ns)	1,55 (ns)
Art*Substrat	1,78 (ns)	1,55 (ns)
Art*Wasserhöhe	4,01 (*)	1,66 (ns)
Substrat*Wasserhöhe	0,04 (ns)	0,21 (ns)
Art*Substrat*Wasserhöhe	0,93 (ns)	0,04 (ns)

Um beurteilen zu können, welche Faktoren des Wachstumsversuchs einen Einfluss auf das Trockengewicht hatten, wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Berücksichtigt wurden dafür die Faktoren Art, Substrat (bzw. Nährstoffangebot) und die

Wasserhöhe in den Wannern sowie die Interaktion zwischen diesen Faktoren. Die Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Analyse.

Einen hoch signifikanten Einfluss auf das Trockengewicht haben demnach die Art und das verwendete Substrat. Auch die Interaktion zwischen der Art und der Wasserhöhe beeinflusst das Trockengewicht signifikant, wenn für die Berechnung des Modells die Werte aller Pflanzen verwendet werden. Keinen Einfluss haben die Wasserhöhe sowie die anderen Interaktionen. Werden alle Pflanzen mit einem besonders hohen (vier Pflanzen über 50 g) und besonders niedrigen (drei Pflanzen unter 4 g) Gesamt-Trockengewicht aus den Daten entfernt, ergibt sich aus der Varianzanalyse kein signifikanter Einfluss der Interaktion zwischen der Art und der Wasserhöhe.

Als Ergänzung wurden Kruskal-Wallis-Tests durchgeführt, um zusätzliche Aussagen zum Einfluss des Nährstoffangebots und der Wasserhöhe auf das gesamte Trockengewicht (Summe der ober- und unterirdischen Pflanzenteile) treffen zu können. Dazu wurden die Daten unterteilt und für jede Kombination einer Art mit der Wasserhöhe bzw. dem Substrat berechnet, ob es signifikante Unterschiede des Trockengewichts gibt. Die Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse.

Tabelle 9: Einfluss des Substrats und der Wasserhöhe auf das Trockengewicht (gesamte Pflanze). Für den Einfluss des Substrats (das Torfkultursubstrat TKS 2 ist nährstoffreicher als TKS 1) wurde jeweils für eine der Wasserhöhen mit einem Kruskal-Wallis-Test berechnet, ob sich das Trockengewicht bei TKS 2 signifikant von dem bei TKS 1 unterscheidet. Für den Einfluss der Wasserhöhe wurde jeweils für eines der Substrate berechnet, ob es Unterschiede zwischen den Wasserhöhen gibt. Signifikanz: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; „ns“ = nicht signifikant. Anzahl der Werte pro Berechnung: ANG: 8; LAT: 16; LAX: 48.

Art	Einfluss des Substrats bei bestimmter Wasserhöhe		Einfluss der Wasserhöhe bei bestimmtem Substrat	
	niedrig	hoch	TKS 1	TKS 2
<i>T. angustifolia</i> (ANG)	ns	*	ns	ns
<i>T. latifolia</i> (LAT)	***	**	ns	ns
<i>T. laxmannii</i> (LAX)	***	***	ns	ns

Für die Pflanzen von *T. angustifolia* ergeben die Tests bei niedriger Wasserhöhe keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei verwendeten Substraten. Es zeigen sich allerdings signifikante Unterschiede bei einem hohen Wasserstand in den Wannern. Beachtet werden muss dabei aber, dass für *T. angustifolia* nur acht Pflanzen für jede Wasserhöhe untersucht wurden. Für *T. latifolia* und *T. laxmannii* unterscheidet sich das Trockengewicht der Pflanzen in den Töpfen mit TKS 1 bei beiden Wasserhöhen signifikant von dem der Pflanzen in den Töpfen mit TKS 2. Bei keiner der getesteten Kombinationen der Art und des Substrats zeigt die Auswertung einen signifikanten Unterschied des Trockengewichts zwischen der niedrigen und der hohen Wasserhöhe.

Abbildung 30 stellt das Trockengewicht in Bezug auf die vier Wachstumsbedingungen dar. Es handelt es sich dabei um das Gesamtgewicht, also die Summe der Messwerte der oberirdischen und unterirdischen Teile der Pflanzen. Auffällig ist wieder der bereits erwähnte Ausreißer von *T. laxmannii* aus dem Gewässer 24 bei der Wachstumsbedingung 1H. Bei dieser Pflanze handelte es sich um diejenige mit dem höchsten Trockengewicht (knapp 64 g) des gesamten Versuchs.

Das durchschnittliche Trockengewicht der Pflanzen aller Wachstumsbedingungen betrug für *T. angustifolia* rund 28,3 g, für *T. latifolia* 23,3 g und für *T. laxmannii* 17,0 g. Die Mittelwerte für die Pflanzen von *T. laxmannii* aus den drei Populationen lagen bei rund 22,3 g (Gewässer 24), 15,4 g (Gewässer 25) und 13,3 g (Gewässer 9).

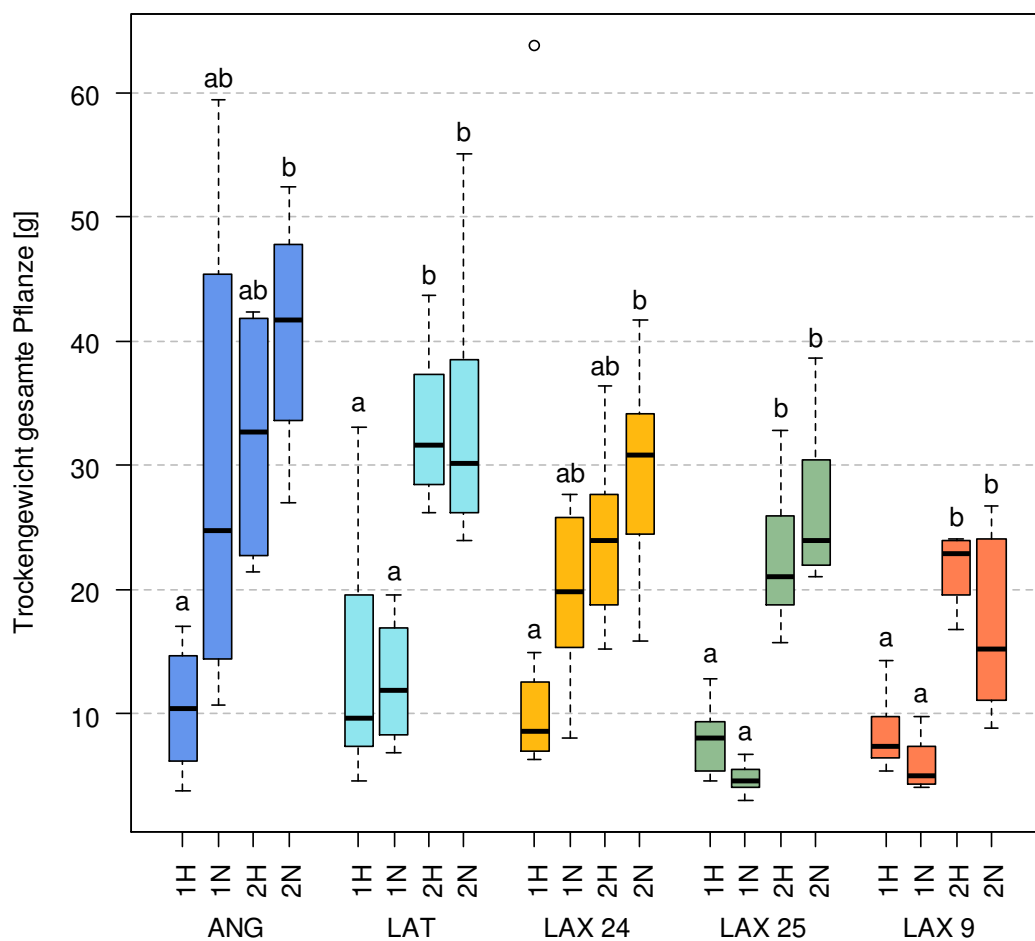


Abbildung 30: Trockengewicht (gesamte Pflanze) nach Art/Population und Wachstumsbedingung. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, ein Ausreißer ist als einzelner Punkt dargestellt. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummern der Gewässer). Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt. „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede innerhalb einer Art bzw. einer Population ($p < 0,05$). Anzahl der Werte pro Boxplot: ANG: 4; LAT: 8; LAX (pro Gewässer): 8.

Die statistische Auswertung zeigt, dass im Wesentlichen alle drei Arten sowie alle drei Populationen von *T. laxmannii* von einem erhöhten Nährstoffangebot profitierten und im

nährstoffreicheren Substrat (TKS 2) ein höheres Trockengewicht erreichten. Für LAT, LAX 25 und LAX 9 zeigen sich signifikante Unterschiede jeweils zwischen 1H und 2H sowie zwischen 1N und 2N, jedoch nicht zwischen 1H und 1N sowie zwischen 2H und 2N. Das bedeutet, dass für diese Pflanzen die Wasserhöhe keinen Unterschied machte. Generell hat die Wasserhöhe in keinem Fall einen signifikanten Einfluss auf das Trockengewicht, wenn nur die Pflanzen in jeweils einem der beiden Substrate verglichen werden. Für ANG und LAX 24 ergeben sich signifikante Unterschiede jeweils zwischen 1H und 2N, während sich die anderen Wachstumsbedingungen bei dem gewählten Signifikanzniveau von $p < 0,05$ nicht signifikant voneinander unterscheiden.

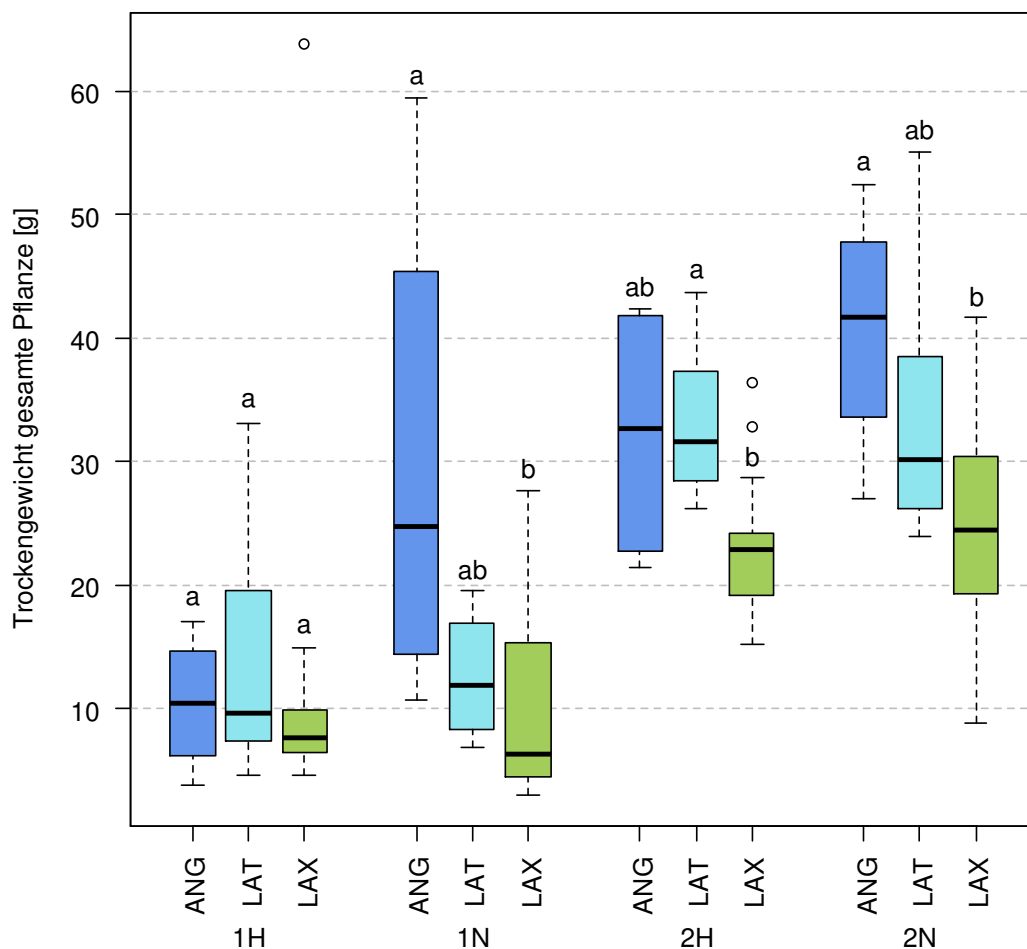


Abbildung 31: Trockengewicht (gesamte Pflanze) nach Wachstumsbedingung und Art. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii*. Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt. „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede innerhalb einer Wachstumsbedingung ($p < 0,05$). Anzahl der Werte pro Boxplot: ANG: 4; LAT: 8; LAX: 24.

Auf der Abbildung 31 ist das Trockengewicht der jeweils gesamten Pflanze nach Wachstumsbedingung und Art dargestellt. Bei 1H gibt es keine signifikanten Unterschiede, das Trockengewicht lag für alle Arten auf einem ähnlich niedrigen Niveau. Bei 1N sowie 2N

zeigt sich ein signifikanter Unterschied nur zwischen *T. angustifolia* und *T. laxmannii*, bei 2H hingegen nur zwischen *T. latifolia* und *T. laxmannii*.

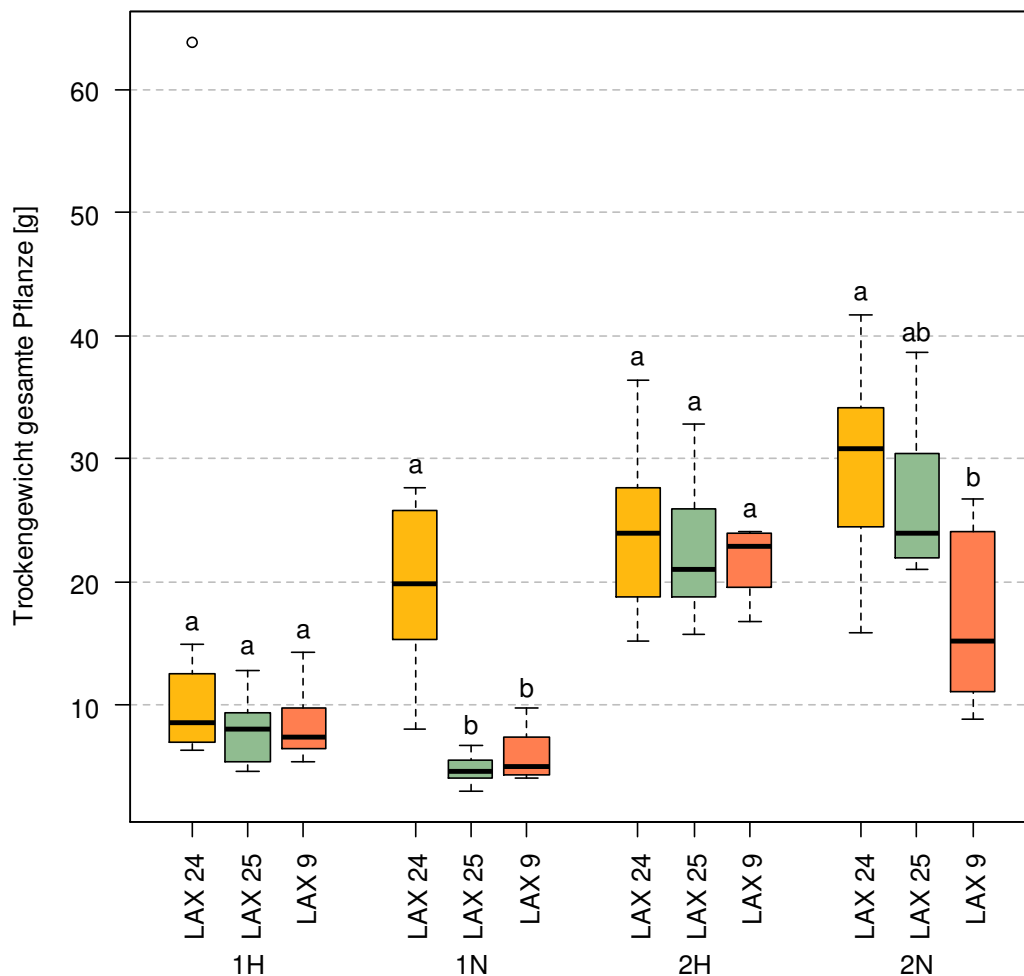


Abbildung 32: Trockengewicht (gesamte Pflanze) nach Wachstumsbedingung und Population bzw. Gewässer (9, 24 und 25) für *Typha laxmannii*. Innerhalb einer Box (mit Median) liegen 50% der Werte. Die maximale Länge der Whisker beträgt 150% des Interquartilsabstandes, ein Ausreißer ist als einzelner Punkt dargestellt. Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt. „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede innerhalb einer Wachstumsbedingung ($p < 0,05$). Anzahl der Werte pro Boxplot: 8.

Abbildung 32 ermöglicht einen Vergleich des Trockengewichts der Pflanzen aus den drei Populationen bzw. Gewässern von *T. laxmannii*. Bei der Wachstumsbedingung 1N liegt das Trockengewicht der Pflanzen aus dem Gewässer 24 signifikant über dem der Pflanzen aus den anderen beiden Gewässern, die sich voneinander nicht signifikant unterscheiden. Bei 2N zeigt sich ein signifikanter Unterschied nur zwischen LAX 24 und LAX 9. Für 1H und 2H ergibt die statistische Auswertung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Populationen.

Die nachfolgenden Tabellen (Tabelle 10 bis Tabelle 13) enthalten die arithmetischen Mittelwerte sowie die Standardabweichungen für mehrere Größen aus dem Wachstumsversuch. In jeweils einer Tabelle sind dabei die Daten für eine der vier

Wachstumsbedingungen aufgelistet. Zusätzlich ist dargestellt, ob es signifikante Unterschiede zwischen den drei Arten gibt.

Tabelle 10: Werte am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 1H (TKS 1 & hoher Wasserstand), getrennt nach Art. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$); „ns“ = nicht signifikant.

Art	<i>T. angustifolia</i> n = 4	<i>T. latifolia</i> n = 8	<i>T. laxmannii</i> n = 24
Trockengewicht gesamte Pflanze [g]	10,4 ± 5,7 (ns)	13,9 ± 9,6 (ns)	10,7 ± 11,7 (ns)
Trockengewicht oberirdische Teile [g]	3,3 ± 1,7 (ns)	4,2 ± 3,1 (ns)	3,5 ± 3,8 (ns)
Trockengewicht unterirdische Teile [g]	7,1 ± 4,0 (ns)	9,7 ± 6,5 (ns)	7,2 ± 7,9 (ns)
Anzahl Nebensprosse	1,3 ± 1,0 (a)	1,6 ± 0,9 (a)	4,7 ± 3,4 (b)
Höhe Hauptspross [cm]	52,0 ± 5,0 (a)	60,9 ± 9,7 (a)	41,1 ± 7,8 (b)
TG-Verhältnis u./o. Teile	2,10 ± 0,32 (ns)	2,39 ± 0,27 (ns)	2,11 ± 0,36 (ns)

Tabelle 11: Werte am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 1N (TKS 1 & niedriger Wasserstand), getrennt nach Art. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$); „ns“ = nicht signifikant.

Art	<i>T. angustifolia</i> n = 4	<i>T. latifolia</i> n = 8	<i>T. laxmannii</i> n = 24
Trockengewicht gesamte Pflanze [g]	29,9 ± 21,5 (a)	12,6 ± 4,8 (ab)	10,2 ± 8,0 (b)
Trockengewicht oberirdische Teile [g]	9,7 ± 7,5 (a)	3,9 ± 1,5 (ab)	3,2 ± 2,4 (b)
Trockengewicht unterirdische Teile [g]	20,2 ± 14,0 (a)	8,7 ± 3,3 (ab)	6,9 ± 5,6 (b)
Anzahl Nebensprosse	2,3 ± 0,5 (ab)	1,6 ± 0,9 (a)	4,8 ± 2,7 (b)
Höhe Hauptspross [cm]	69,1 ± 26,7 (a)	55,3 ± 8,9 (a)	37,5 ± 12,2 (b)
TG-Verhältnis u./o. Teile	2,15 ± 0,26 (ns)	2,24 ± 0,38 (ns)	2,16 ± 0,48 (ns)

Tabelle 12: Werte am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 2H (TKS 2 & hoher Wasserstand), getrennt nach Art. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$); „ns“ = nicht signifikant.

Art	<i>T. angustifolia</i> n = 4	<i>T. latifolia</i> n = 8	<i>T. laxmannii</i> n = 24
Trockengewicht gesamte Pflanze [g]	32,3 ± 11,0 (ab)	33,1 ± 6,0 (a)	22,8 ± 5,2 (b)
Trockengewicht oberirdische Teile [g]	10,5 ± 4,3 (ns)	9,7 ± 2,4 (ns)	7,6 ± 1,7 (ns)
Trockengewicht unterirdische Teile [g]	21,8 ± 6,8 (ab)	23,4 ± 3,9 (a)	15,1 ± 3,8 (b)
Anzahl Nebensprosse	2,3 ± 0,5 (a)	3,3 ± 1,2 (a)	5,9 ± 2,0 (b)
Höhe Hauptspross [cm]	89,4 ± 20,5 (a)	85,9 ± 9,1 (a)	62,8 ± 11,0 (b)
TG-Verhältnis u./o. Teile	2,15 ± 0,29 (ab)	2,46 ± 0,37 (a)	2,01 ± 0,36 (b)

Tabelle 13: Werte am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 2N (TKS 2 & niedriger Wasserstand), getrennt nach Art. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$); „ns“ = nicht signifikant.

Art	<i>T. angustifolia</i> n = 4	<i>T. latifolia</i> n = 8	<i>T. laxmannii</i> n = 24
Trockengewicht gesamte Pflanze [g]	40,7 ± 10,5 (a)	33,6 ± 10,4 (ab)	24,4 ± 8,7 (b)
Trockengewicht oberirdische Teile [g]	11,2 ± 3,0 (ns)	10,4 ± 3,3 (ns)	7,9 ± 2,7 (ns)
Trockengewicht unterirdische Teile [g]	29,4 ± 7,8 (a)	23,2 ± 7,2 (ab)	16,5 ± 6,3 (b)
Anzahl Nebensprosse	1,3 ± 0,5 (a)	2,3 ± 0,7 (a)	5,9 ± 2,5 (b)
Höhe Hauptspross [cm]	92,8 ± 13,3 (a)	89,0 ± 12,9 (a)	66,9 ± 12,5 (b)
TG-Verhältnis u./o. Teile	2,64 ± 0,37 (ns)	2,26 ± 0,27 (ns)	2,09 ± 0,44 (ns)

Die weiteren vier Tabellen (Tabelle 14 bis Tabelle 17) dienen dem Vergleich der drei Populationen von *T. laxmannii*.

Tabelle 14: Werte von *Typha laxmannii* am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 1H (TKS 1 & hoher Wasserstand), getrennt nach Population bzw. Gewässer (9, 24 und 25). Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$); „ns“ = nicht signifikant.

Population/Gewässer	LAX 24 (n = 8)	LAX 25 (n = 8)	LAX 9 (n = 8)
Trockengewicht gesamte Pflanze [g]	15,8 ± 19,6 (ns)	7,9 ± 2,8 (ns)	8,4 ± 3,0 (ns)
Trockengewicht oberirdische Teile [g]	5,1 ± 6,3 (ns)	2,3 ± 0,8 (ns)	3,1 ± 1,2 (ns)
Trockengewicht unterirdische Teile [g]	10,7 ± 13,3 (ns)	5,6 ± 2,1 (ns)	5,3 ± 1,8 (ns)
Anzahl Nebensprosse	6,5 ± 5,2 (a)	4,5 ± 1,9 (ab)	3,0 ± 0,8 (b)
Höhe Hauptspross [cm]	40,5 ± 10,1 (a)	36,0 ± 4,2 (a)	46,8 ± 3,8 (b)
TG-Verhältnis u./o. Teile	2,08 ± 0,20 (a)	2,47 ± 0,26 (b)	1,77 ± 0,15 (a)

Tabelle 15: Werte von *Typha laxmannii* am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 1N (TKS 1 & niedriger Wasserstand), getrennt nach Population bzw. Gewässer (9, 24 und 25). Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Population/Gewässer	LAX 24 (n = 8)	LAX 25 (n = 8)	LAX 9 (n = 8)
Trockengewicht gesamte Pflanze [g]	19,8 ± 6,8 (a)	4,8 ± 1,2 (b)	5,9 ± 2,1 (b)
Trockengewicht oberirdische Teile [g]	6,1 ± 1,8 (a)	1,3 ± 0,4 (b)	2,2 ± 0,7 (b)
Trockengewicht unterirdische Teile [g]	13,7 ± 5,0 (a)	3,4 ± 0,8 (b)	3,7 ± 1,4 (b)
Anzahl Nebensprosse	6,9 ± 3,2 (a)	4,4 ± 1,1 (ab)	3,0 ± 1,8 (b)
Höhe Hauptspross [cm]	49,6 ± 11,4 (a)	25,8 ± 2,8 (b)	37,0 ± 5,2 (a)
TG-Verhältnis u./o. Teile	2,20 ± 0,31 (a)	2,60 ± 0,31 (b)	1,69 ± 0,27 (a)

Tabelle 16: Werte von *Typha laxmannii* am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 2H (TKS 2 & hoher Wasserstand), getrennt nach Population bzw. Gewässer (9, 24 und 25). Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$); „ns“ = nicht signifikant.

Population/Gewässer	LAX 24 (n = 8)	LAX 25 (n = 8)	LAX 9 (n = 8)
Trockengewicht gesamte Pflanze [g]	24,1 ± 6,8 (ns)	22,5 ± 5,7 (ns)	21,7 ± 2,7 (ns)
Trockengewicht oberirdische Teile [g]	8,1 ± 2,1 (ns)	6,7 ± 1,7 (ns)	8,1 ± 1,1 (ns)
Trockengewicht unterirdische Teile [g]	16,0 ± 4,7 (ns)	15,8 ± 4,1 (ns)	13,6 ± 2,1 (ns)
Anzahl Nebensprosse	5,4 ± 1,5 (a)	8,0 ± 1,1 (b)	4,4 ± 1,3 (a)
Höhe Hauptspross [cm]	63,6 ± 5,2 (a)	50,8 ± 5,6 (a)	74,1 ± 5,4 (b)
TG-Verhältnis u./o. Teile	1,97 ± 0,15 (a)	2,38 ± 0,22 (b)	1,69 ± 0,29 (a)

Tabelle 17: Werte von *Typha laxmannii* am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 2N (TKS 2 & niedriger Wasserstand), getrennt nach Population bzw. Gewässer (9, 24 und 25). Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ($p < 0,05$).

Population/Gewässer	LAX 24 (n = 8)	LAX 25 (n = 8)	LAX 9 (n = 8)
Trockengewicht gesamte Pflanze [g]	29,6 ± 8,0 (a)	26,5 ± 6,1 (ab)	17,1 ± 7,1 (b)
Trockengewicht oberirdische Teile [g]	10,0 ± 2,6 (a)	7,4 ± 1,7 (ab)	6,2 ± 2,3 (b)
Trockengewicht unterirdische Teile [g]	19,6 ± 5,5 (a)	19,1 ± 4,5 (a)	10,9 ± 4,9 (b)
Anzahl Nebensprosse	6,6 ± 2,7 (a)	7,4 ± 1,8 (a)	3,8 ± 1,2 (b)
Höhe Hauptspross [cm]	75,6 ± 10,2 (a)	58,0 ± 7,0 (b)	67,3 ± 13,7 (ab)
TG-Verhältnis u./o. Teile	1,96 ± 0,21 (a)	2,59 ± 0,25 (b)	1,72 ± 0,24 (a)

4 Diskussion

4.1 Methodenkritik

Der schlechte Zustand der Kolben von *T. angustifolia* hat Vergleiche mit den anderen Arten erschwert. Aussagen zur Größe und dem Gewicht der Diasporen waren nur eingeschränkt möglich, ebenso wie der Vergleich der Keimfähigkeit der Samen. Bei der statistischen Auswertung erschien es daher meist sinnvoll, die Werte von *T. laxmannii* nur mit denen von *T. latifolia* zu vergleichen. Einer der fünf zur Verfügung stehenden Fruchtstände von *T. angustifolia* unterschied sich dabei deutlich von den anderen, deren Diasporen oft nicht vollständig entwickelt waren. Dadurch ergibt sich die Frage, ob die Werte dieses einen Kolbens typisch für die Art sind oder ungewöhnlich hoch. Da nur die Samen dieses Kolbens eine ausreichend hohe Keimrate aufwiesen, muss für den Wachstumsversuch außerdem beachtet werden, dass alle oder nahezu alle Pflanzen von *T. angustifolia* von einem einzigen Individuum abstammten. Dadurch sinkt für diesen Versuch ebenfalls die Aussagekraft des Vergleichs der drei Arten.

Bei der Bestimmung der Anzahl an Diasporen pro Kolben muss berücksichtigt werden, dass die Kolben während der Lagerung im Kühlraum deutlich an Gewicht verloren haben. Das Gewicht der Kolben wurde kurz nach dem Sammeln im Oktober 2017 erhoben und erneut im November 2018, als das Gewicht aller Diasporen bestimmt wurde. In diesem Zeitraum hat sich das Gewicht der Kolben im Mittel um 42% reduziert. Es ist unklar, ob sich dieses reduzierte Gewicht schon zum Zeitpunkt der Messung des Gewichts der jeweils 250 Diasporen im Juni 2018 eingestellt hatte. Zusätzlich wurden bei der Bestimmung des Gewichts aller Diasporen auch alle kleinen und schlecht entwickelten Diasporen aus den Randbereichen der Kolben erfasst, während sich das Gewicht der jeweils 250 Diasporen nur auf Diasporen aus den inneren Bereichen der Kolben bezieht. Aus diesen Gründen müssen die Werte zur Anzahl der Diasporen als Minimalwert angesehen werden. Die tatsächliche Anzahl aller Diasporen eines Kolbens liegt über den angegebenen Werten. Eine genauere Bestimmung wäre ohne die Pause und mit einer besseren Vorgangsweise möglich gewesen, hätte allerdings den Aufwand erhöht.

An den ersten drei Tagen nach dem Start des Lichtkeimversuchs wurde nur mit dem freien Auge geprüft, ob Samen gekeimt waren. Nicht ausgeschlossen werden kann, dass bereits am Tag 3 einzelne Samen gekeimt waren, dies aber nicht mit freiem Auge erkennbar war. Zu einem späteren Zeitpunkt wurden zusätzliche Diasporen von *T. latifolia* und *T. angustifolia* (unter identischen Bedingungen) in den Keimschrank gegeben, um mehr Keimlinge für den Wachstumsversuch zu erhalten. Dabei zeigte sich, dass die Keimung bei einem kleinen Teil

der Samen von *T. angustifolia* bereits nach drei Tagen eingesetzt hat. Sinnvoll wäre es gewesen, das Binokular bereits früher zur Betrachtung zu verwenden.

Für die Trocknung der Pflanzen am Ende des Wachstumsversuchs wurde eine Temperatur von 40°C gewählt, um das Material für mögliche weitere Untersuchungen zu schonen. Diese stellte sich als zu niedrig heraus, da einzelne Rhizome nicht vollständig trocken waren und ein zweiter Trocknungsvorgang durchgeführt werden musste. Dies führte neben einem zusätzlichen Arbeitsaufwand zu Unsicherheiten bei der Auswertung. Das Gewicht der Pflanzen wurde außerdem nicht sofort nach dem Herausnehmen aus dem Trockenschrank bestimmt, sondern erst nach ca. zweiwöchiger Lagerung in einem Kellerraum. Dadurch haben die Pflanzenteile wieder etwas Feuchtigkeit aufgenommen, wodurch ein geringfügig höheres Gewicht gemessen wurde.

4.2 Morphologie der Diasporen (Forschungsfrage 1)

Durch die Vermessung der Diasporen der drei *Typha*-Arten sollte die Frage beantwortet werden, ob sich *T. laxmannii* aufgrund der Morphologie seiner Diasporen rascher ausbreiten und neue Standorte schneller besiedeln kann als die heimischen Arten. Die Diasporen von *T. latifolia* und die gut entwickelten Diasporen des Kolbens E von *T. angustifolia* waren deutlich größer und schwerer als die Diasporen von *T. laxmannii*. Der erste Teil der Hypothese H1, nämlich, dass die Diasporen von *T. laxmannii* leichter sind als die der Konkurrenten, kann damit bestätigt werden. Allerdings kann daraus nicht automatisch geschlossen werden, dass sie sich dadurch über größere Distanzen ausbreiten können.

Entscheidend für die Distanz, über die Samen bzw. Diasporen durch den Wind transportiert werden können, ist neben der Windgeschwindigkeit die Fallgeschwindigkeit der Diasporen und die Höhe, aus der diese von der Pflanze freigesetzt werden. Hohe Pflanzen mit einer großen Anzahl sehr leichter Samen haben daher bessere Chancen, diese über weite Strecken zu verbreiten. In diese Kategorie fallen auch Pflanzen der Gattung *Typha*, die im Vergleich zu anderen Gattungen besonders niedrige Fallgeschwindigkeiten aufweisen und daher hohe Ausbreitungsdistanzen erreichen (Soons, 2006; van Diggelen et al., 2012).

Für *T. angustifolia* wird eine Fallgeschwindigkeit von 0,14 m/s angegeben (van Diggelen et al., 2012) und für *T. latifolia* Fallgeschwindigkeiten zwischen 0,1 und 0,13 m/s (Müller-Schneider, 1986; Matlack, 1987; Tackenberg, 2001; Kleyer et al., 2008). Nach Soons (2006) ist mit diesen Werten bei stürmischen Bedingungen ein anemochorer Transport über „viele Kilometer“ möglich. Van Diggelen et al. (2012) geben an, dass die Samen von *T. angustifolia* von einer Ausgangsfläche von 576 m² eine Fläche von insgesamt rund 83 ha erreichen können. Bei geringeren Windgeschwindigkeiten sind die Ausbreitungsdistanzen entsprechend kleiner. Für eine Brise von 10 km/h gibt Matlack (1987) für Diasporen von *T. latifolia* eine geschätzte

Distanz von rund 47 m an. Für *T. laxmannii* liegen keine Daten vor, aber die Werte dürften auf einem ähnlichen Niveau liegen. Die Diasporen sind kleiner und leichter als die von *T. latifolia*, allerdings sind auch die Pappushaare, die die Fallgeschwindigkeit reduzieren, kürzer.

Bei optimalen Windbedingungen sollte es für die Diasporen jeder der drei Arten möglich sein, über große Strecken vom Wind transportiert zu werden. Von einem Vorteil für *T. laxmannii* in Bezug auf die Besiedlung von neuen Gewässern kann aufgrund der Messwerte zur Morphologie der Diasporen nicht ausgegangen werden. Nötig wären dazu Messungen der Fallgeschwindigkeit. Die aufgestellte Hypothese kann mit den vorliegenden Daten nicht bestätigt werden.

Berücksichtigt werden muss im Hinblick auf die Ausbreitungsfähigkeit der Arten ebenfalls, dass die Diasporen nicht nur durch den Wind verbreitet werden. Auch der Transport durch Vögel, Menschen oder Fahrzeuge erscheint möglich. Bei der Arbeit mit den Diasporen hat sich gezeigt, dass diese durch die Pappushaare an Kleidungsstücken haften bleiben können. Einige der untersuchten Populationen von *T. laxmannii* befinden sich in der Nähe des stark frequentierten Bahnhofs Tullnerfeld und grenzen teilweise unmittelbar an die Parkplätze an. Hier liegt die Vermutung nahe, dass eine weitere anthropogene Verbreitung der Art wahrscheinlich ist, wenn die Diasporen so in geeignete Gewässer gelangen.

Die Wahrscheinlichkeit, neue Standorte zu besiedeln, hängt auch von der Anzahl der Diasporen bzw. Samen ab, die verbreitet werden. Für *T. laxmannii* gibt es dazu keine publizierten Daten, für *T. latifolia* gibt Yeo (1964) einen Wert von 117.000 bis 268.000 Samen pro Kolben an, mit einem Mittelwert von über 222.000. Die Berechnungen für *T. laxmannii* haben ergeben, dass die untersuchten Kolben im Mittel knapp 100.000 Diasporen enthielten. Dieser Wert ist wie bereits beschrieben als Minimalwert anzusehen, die tatsächliche Anzahl ist größer. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die Kolben von *T. laxmannii* weniger Diasporen als die Kolben von *T. latifolia* enthalten, da letztere im Normalfall wesentlich länger sind.

Nicht alle Diasporen haben dabei jedoch das Potential, sich über größere Distanzen verbreiten zu können. An den Populationen im Tullnerfeld konnte beobachtet werden, dass sich vor allem bei *T. latifolia* beim Aufplatzen der Kolben Schwaden aneinanderhaftender Diasporen bildeten, die dann vom Wind nur über kurze Strecken transportiert werden. Abbildung 33 zeigt ein Beispiel dazu. Die Fruchtsstände von *T. laxmannii* entwickelten sich etwas später und die Diasporen wurden nicht so schnell freigesetzt wie bei *T. latifolia*, da die Kolben länger ihre Form behielten.

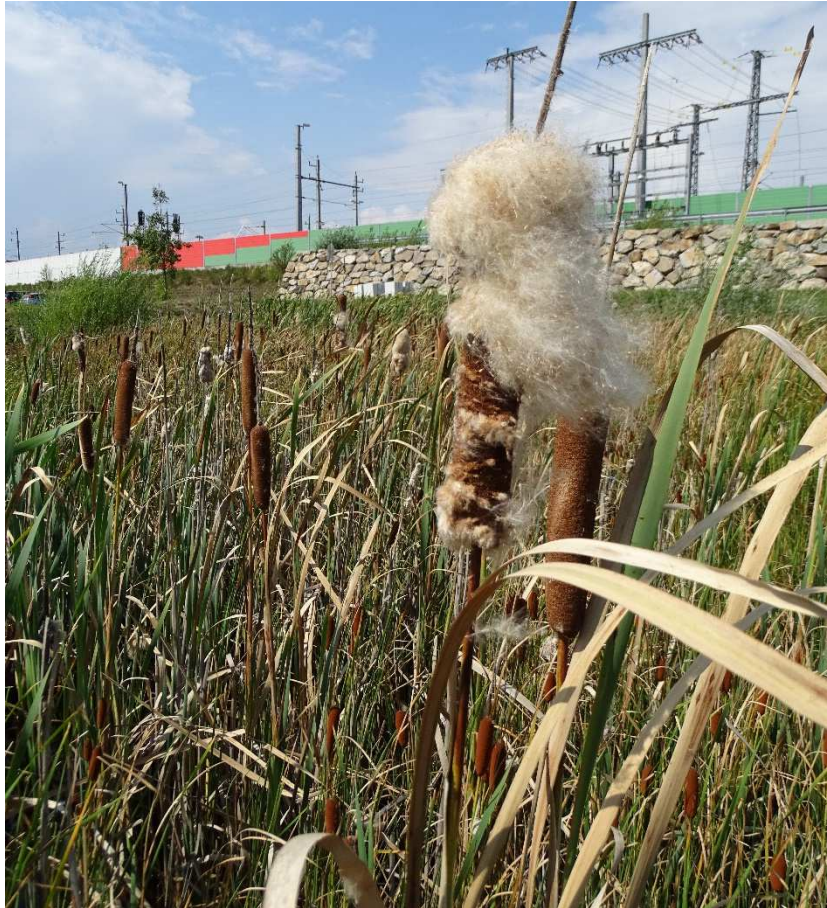


Abbildung 33: Kolben von *Typha latifolia* in einem Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld (20. August 2018).

Tabelle 18: Vergleich des gemessenen Gewichts der Diasporen mit Literaturangaben.

Gewicht von jeweils 1000 Diasporen/Samen [g]	<i>T. angustifolia</i>	<i>T. latifolia</i>	<i>T. laxmannii</i>
eigene Messwerte (Mittelwerte aller Kolben)	0,032 (alle Kolben) 0,062 (nur Kolben E)	0,085	0,032
Literaturangaben (Royal Botanic Gardens Kew, 2019) * RBG Kew ** Baker Seed Herbarium	0,039 ** 0,041 * 0,072 * 0,092 ** 0,305 *	0,034 * 0,049 * 0,054 * 0,060 * 0,067 * 0,069 * 0,082 ** 0,109 *	0,047 *

Der Vergleich des Gewichts der Diasporen bzw. Samen mit Literaturangaben ist schwierig, da sich die publizierten Werte untereinander zum Teil sehr stark unterscheiden. Die Tabelle 18 zeigt den Vergleich mit Angaben aus der Datenbank der Royal Botanic Gardens Kew (2019). Grundsätzlich liegen die Messwerte dabei im Bereich der Werte aus der Datenbank.

Signifikante Unterschiede waren nicht nur zwischen *T. laxmannii* und *T. latifolia* feststellbar, sondern auch innerhalb der Art *T. laxmannii*, wie der Vergleich der untersuchten Populationen gezeigt hat.

4.3 Keimfähigkeit der Samen (Forschungsfrage 2)

Die Hypothese H2, dass die Samen von *T. laxmannii* eine höhere Keimfähigkeit aufweisen als die der heimischen Konkurrenten, kann durch die Ergebnisse des Lichtkeimversuchs zurückgewiesen werden. Sowohl *T. laxmannii* als auch *T. latifolia* erreichten dabei ähnliche Keimraten. Zumindest bei den Bedingungen, die während des Keimversuchs herrschten, hat demnach keine der beiden Arten einen Vorteil in Bezug auf die Keimfähigkeit der Samen und damit die Wahrscheinlichkeit, neue Standorte besiedeln zu können. Es haben sich allerdings auch bei den Keimversuchen signifikante Unterschiede zwischen den drei Populationen von *T. laxmannii* gezeigt. Die Samen der Pflanzen aus den Gewässern 9 und 25 erreichten höheren Keimraten als die Samen von *T. latifolia*.

Vergleiche mit Angaben aus der Literatur sind nur eingeschränkt möglich, da die Keimraten sehr stark von den Bedingungen während der Keimung abhängen. Untersuchungen von Morinaga (1926) und Yeo (1964) mit Samen von *T. latifolia* haben gezeigt, dass bei optimalen Bedingungen eine Keimrate von 100% erreicht werden konnte, während bei sehr ungünstigen Bedingungen keine Samen keimten. Laut Morinaga sind für die Keimung wechselnde Temperaturen ebenso vorteilhaft wie eine reduzierte Verfügbarkeit von Sauerstoff. Die Samen von *T. latifolia* keimten unter Wasser deutlich besser als auf feuchtem Filterpapier in Petrischalen. Auch die Wahl der Temperaturen wirkte sich stark auf die Keimrate aus. Die Anforderungen an die Temperatur können dabei zwischen verschiedenen Populationen schwanken, wie McNaughton (1966) anhand von Populationen von *T. latifolia* und *T. angustifolia* in den USA gezeigt hat.

Die beiden durchgeführten Dunkelkeimversuche haben gezeigt, dass weder bei vollständiger Dunkelheit noch bei zeitweiser kurzer Lichteinwirkung eine Keimung stattgefunden hat. Die Beleuchtung muss somit ein gewisses Ausmaß erreichen, um die Keimung der Samen auszulösen. Dies gilt jedoch nur für die getesteten Bedingungen. Nach Morinaga (1926) sind bei Dunkelheit wechselnde Temperaturen für die Keimung der Samen von *T. latifolia* notwendig. Bei verschiedenen konstanten Temperaturen keimten demnach nicht mehr als 2% der Samen.

Möglicherweise war die Differenz der zwei gewählten Temperaturen während der Keimversuche mit 5°C zu gering, um trotz der Dunkelheit eine Keimung zu bewirken. Die von Morinaga getesteten Temperaturvarianten wiesen Differenzen von mindestens 12°C auf, verteilt auf zwei Phasen mit sechs Stunden für die höhere Temperatur und 18 Stunden für die

niedrigere. Morinaga beschreibt außerdem, dass sich das Aufbrechen der Samenschale mit Nadeln sehr positiv auswirkte und bewirkte, dass die Samen auch in Dunkelheit bei konstanter Temperatur hohe Keimraten erreichten.

Eine interessante Beobachtung der Dunkelkeimversuche war die Tatsache, dass die Samen nach der Entfernung der Alufolie nicht die Keimrate des Lichtkeimversuchs erreichten. Die Phase der Dunkelheit bewirkte auch danach noch eine Hemmung der Keimfähigkeit, die in einigen Fällen sehr deutlich ausfiel.

4.4 Einflussfaktoren auf das Wachstum (Forschungsfrage 3)

Eine Untersuchung der Populationen von *T. laxmannii* in den Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld wurde bereits von Plachy (2017) durchgeführt. Diese hat unter anderem gezeigt, dass es deutliche Unterschiede zwischen den Populationen gibt. Auch beim Wachstumsversuch haben sich zum Teil signifikante Unterschiede hinsichtlich des Trockengewichts, der Höhe des Hauptsprosses und der Anzahl der gebildeten Nebensprosse zwischen den Pflanzen von *T. laxmannii* aus den drei Gewässern gezeigt.

Die große Variabilität zwischen den Populationen, die möglicherweise auf genetische Unterschiede zurückzuführen sein könnte, erschwert den Vergleich der drei *Typha*-Arten. Einige grundsätzliche Aussagen können jedoch getroffen werden. *T. laxmannii* hat bei allen vier Wachstumsbedingungen deutlich mehr Nebensprosse ausgebildet als die zwei heimischen Arten, blieb allerdings bezüglich der Höhe des Hauptsprosses kleiner als diese. Die Arten scheinen also eine unterschiedliche Strategie zu verfolgen. *T. latifolia* und *T. angustifolia* nutzen die zur Verfügung stehenden Nährstoffe hauptsächlich zum Wachstum des Hauptsprosses und einer kleinen Zahl von Nebensprossen. Die einzelnen Sprosse sind kräftiger und die Blätter sind breiter. Sie sind dadurch konkurrenzfähiger, da sie aufgrund der größeren Blattfläche und Höhe mehr Sonnenlicht zur Photosynthese nutzen können. Andere Pflanzen, die durch sie beschattet werden, können sie so verdrängen. Im Gegensatz dazu bleibt *T. laxmannii* kleiner, bildet aber über Rhizomausläufer sehr viele Nebensprosse aus. Potenziell kann sich *T. laxmannii* dadurch schneller über eine größere Fläche ausbreiten.

Bei der Betrachtung der Auswirkungen der vier unterschiedlichen Wachstumsbedingungen zeigt sich, dass alle drei Arten wie erwartet von einem höheren Nährstoffangebot profitierten. Die Pflanzen, die in den Töpfen mit dem nährstoffreicheren Substrat wuchsen, erreichten am Ende des Versuchs ein wesentlich höheres Trockengewicht. Die Höhe des Wasserstandes in den Wannern hatte hingegen bei keiner der Arten einen signifikanten Einfluss auf das Wachstum der Pflanzen.

Generell haben *T. latifolia* und *T. angustifolia* während des Versuchs die vorhandenen Nährstoffe besser umgesetzt und höhere Trockengewichte erreicht als die Pflanzen von *T.*

laxmannii. Das könnte ein weiterer Hinweis darauf sein, dass die heimischen Arten konkurrenzstärker sind und *T. laxmannii* zumindest bei den für sie optimalen Wachstumsbedingungen verdrängen können. Für diese Theorie spricht, dass bisher keine Vorkommen von *T. laxmannii* in natürlichen Gewässern beobachtet wurden (vgl. Bernhardt und Wernisch, 2016).

Die Hypothese H3, dass *T. laxmannii* von bestimmten Wachstumsbedingungen stärker profitiert als die heimischen Arten, kann mit dem durchgeführten Wachstumsversuch jedenfalls nicht bestätigt werden. Die großen Bestände an einigen Standorten (vgl. Nobis et al., 2006) könnten allerdings darauf hindeuten, dass diese Art auf spezielle Bedingungen angewiesen ist, die außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets nur in sekundären oder gestörten Gewässern vorkommen. Das könnten wechselnde Wasserstände oder das zeitweise Trockenfallen der Gewässer sein. Plachy (2017) berichtet, dass sich *T. laxmannii* während einer Vegetationsperiode in den Gewässern im Tullnerfeld ausgebreitet hat, allerdings nur auf Flächen, die nicht ständig mit Wasser bedeckt waren.



Abbildung 34: *Typha laxmannii* in einem trockenen Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld (20.08.2018).

Abbildung 34 zeigt Individuen von *T. laxmannii*, die in einem Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld wuchsen, das zum Zeitpunkt der Aufnahme des Fotos komplett ausgetrocknet war. Die Population in diesem Gewässer war relativ klein, aber sie zeigt, dass *T. laxmannii* mit den trockenen Bedingungen zurechtkam, während die beiden heimischen Arten an diesem Standort nicht vorkamen. Solche Bedingungen konnten während des Wachstumsversuchs nicht geschaffen werden, die Wasserhöhe war nahezu konstant und das Substrat durchgehend feucht. Zukünftige weitere Untersuchungen dazu könnten interessante Aufschlüsse liefern.

4.5 Invasives Potential

Die durchgeführten Untersuchungen und Versuche haben keine wesentlichen Vorteile von *T. laxmannii* gegenüber den heimischen Arten *T. latifolia* und *T. angustifolia* ergeben. Das Potential, neue Standorte zu besiedeln, dürfte für die drei Arten auf einem ähnlichen Niveau liegen. Die Beobachtungen anhand der Populationen von *T. laxmannii* im niederösterreichischen Tullnerfeld haben gezeigt, dass sich die Art an spezifischen Standorten außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets langfristig etablieren kann. Sie ist dabei aber auf geeignete Bedingungen angewiesen, bei denen *T. latifolia* und *T. angustifolia* nicht vorkommen, ansonsten wird sie von diesen verdrängt (vgl. Bernhardt & Wernisch, 2016; Bernhardt et al., 2017). Von einer Gefährdung der zwei heimischen Arten, besonders in natürlichen Gewässern, ist daher nicht auszugehen. Es stellt sich allerdings die Frage, ob andere Pflanzen mit ähnlichen Standortansprüchen wie *T. laxmannii* durch dessen Ausbreitung bedroht sein könnten. Das könnte eine Fragestellung für nachfolgende Forschungen sein.

Die weitere Ausbreitung des Neophyten hängt unter anderem davon ab, ob vom Menschen neue Standorte geschaffen werden, die sich für diese Art eignen. Das können Gewässer sein, die im Rahmen von Infrastrukturprojekten angelegt werden, wie das Beispiel des Baus der Bahnstrecke im Tullnerfeld gezeigt hat. Auch die Effekte des Klimawandels in Kombination mit den Aktivitäten der Bergbauindustrie können die Ausbreitung von *T. laxmannii* fördern (Nobis et al., 2006).

5 Literaturverzeichnis

- Baryla, J., Bróz, E., Czylok, A., Michalewska, A., Nickel, A., Nobis, M., Piwowarczyk, R., Poloczek, A. 2005. *Typha laxmannii* Lepech. The new, expansive kenophyte in Poland: distribution and taxonomy. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 74/1: 25-28.
- Bernhardt, K.-G. & Wernisch, M.M. 2016. Pflanzen mit invasivem Potenzial in Botanischen Gärten XII: *Typha laxmannii* Lepech. (Typhaceae). *Carinthia II* 205/125: 7-12.
- Bernhardt, K.-G., Gregor, T., Wernisch, M.M. 2017. Ausbreitung von *Typha laxmannii* entlang der neu ausgebauten Westbahnstrecke im Tullnerfeld (Niederösterreich). *Wissenschaftliche Mitteilungen Niederösterreichisches Landesmuseum* 27: 231-242.
- Ciotir, C., Szabo, J., Freeland, J. 2017. Genetic characterization of cattail species and hybrids (*Typha* spp.) in Europe. *Aquatic Botany* 141: 51-59.
- Cook, C.D.K. 1980. *Typha*. In: Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M., Webb, D.A. (Hrsg.). *Flora Europaea*. Volume 5: Alismataceae to Orchidaceae (Monocotyledones). Cambridge University Press. Cambridge: 275-276.
- Čvančara, A. & Šourková, M. 1973. Bemerkungen zur Verbreitung und Variabilität von *Typha laxmannii* Lepech. in der Tschechoslowakei (Poznámky k rozšíření a variabilitě *Typha laxmannii* Lepech. v Československu). *Preslia* 45: 265-275.
- DAISIE European Invasive Alien Species Gateway, 2019. *Typha laxmannii*. URL: <http://www.europe-aliens.org/speciesFactsheet.do?speciesId=2726> [abgerufen am 25.04.2019].
- Essl, F. & Rabitsch, W. 2002. Neobiota in Österreich. Umweltbundesamt, Wien.
- Fiala, K. & Jankovská, V. 1968. *Typha laxmannii* Lepech. – eine neue Art der tschechoslowakischen Flora (*Typha laxmannii* Lepech. – nový druh československé květeny). *Preslia* 40: 192-197.
- Fischer, M.A., Oswald, K., Adler, W. 2008. Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. 3. Auflage. Land Oberösterreich, Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, Linz.
- Govaerts, R. 2019. *Typha laxmannii*. World Checklist of Selected Plant Families (WCSP). Royal Botanic Gardens, Kew. URL: https://wcsp.science.kew.org/namedetail.do?name_id=271021 [abgerufen am 25.04.2019].
- Kleesadl, G. 2009. Floristische Neu-, Erst- und Wiederfunde für Österreich, Oberösterreich bzw. die jeweiligen drei Großregionen Oberösterreichs. *Beiträge zur Naturkunde Oberösterreichs* 19: 49-112.
- Kleyer, M., Bekker, R.M., Knevel, I.C., Bakker, J.P., Thompson, K., Sonnenschein, M., Poschlod, P., Van Groenendael, J.M., Klimes, L., Klimesová, J., Klotz, S., Rusch, G.M., Hermy, M., Adriaens, D., Boedeltje, G., Bossuyt, B., Dannemann, A., Endels, P., Götzenberger, L., Hodgson, J.G., Jackel, A.-K., Kühn, I., Kunzmann, D., Ozinga, W.A., Römermann, C., Stadler, M., Schlegelmilch, J., Steendam, H.J., Tackenberg, O., Wilmann, B., Cornelissen, J.H.C., Eriksson, O., Garnier, E., Peco, B. 2008. The LEDA Traitbase: A database of life-history traits of Northwest European flora. *Journal of Ecology* 96: 1266-1274.
- Matlack, G.R. 1987. Diaspore size, shape, and fall behaviour in wind-dispersed plant species. *American Journal of Botany* 74/8: 1150-1160.
- McNaughton, 1966. Ecotype Function in the *Typha* Community-Type. *Ecological Monographs* 36/4: 297-325.

- Morinaga, T. 1926. Effect of Alternating Temperatures Upon the Germination of Seeds. *American Journal of Botany* 13/2: 141-158.
- Müller-Doblies, U. & Müller-Doblies, D. 1980. Ordnung Typhales. In: Hegi, G. *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. 3. Auflage. Band 2, Teil 1: 275-317, Berlin.
- Müller-Schneider, P. 1986. Verbreitungsbiologie der Blütenpflanzen Graubündens. Diasporology of the Spermatophytes of the Grisons (Switzerland). *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, Zürich*, 85. Heft.
- Melzer, H. 1991. *Typha laxmannii* Lepechin, Laxmanns Rohrkolben – neu für Österreich. *Linzer biologische Beiträge* 23/2: 649-652.
- Melzer, H. & Barta, T. 1993. Floristische Neuigkeiten aus Wien, Niederösterreich und dem Burgenland. *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft Österreich* 130: 75-94.
- Melzer, H. & Barta, T. 1999. Neue Daten zur Flora des Burgenlandes, von Niederösterreich und Wien. *Linzer biologische Beiträge* 31/1: 465-486.
- Nobis, M., Nobis, A., Nowak, A. 2006. *Typhetum laxmannii* (Ubrizsy 1961) Nedelcu 1968 – the new plant association in Poland. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 75/4: 325-332.
- Obermayer, W. 2018. *Typha laxmannii* (Laxmann-Rohrkolben). URL: <http://plants-of-styria.uni-graz.at/images/typha-laxmannii.html> [abgerufen am 26.04.2019].
- Parolly, G. & Rohwer, J.G. (Hrsg.) 2016. *Schmeil-Fitschen – Die Flora Deutschlands und angrenzender Länder*. Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim.
- Plachy, B. 2017. *Typha laxmannii* populations and their habitats in selected drainage ponds along railway tracks in Lower Austria. Masterarbeit am Institut für Botanik, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Polatschek, A. 2001. *Flora von Nordtirol, Osttirol und Vorarlberg*. Band 5: Einkeimblättrige: Poaceae bis Zannichelliaceae. Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum, Innsbruck.
- Royal Botanic Gardens Kew 2019. Seed Information Database (SID). Version 7.1. URL: <http://data.kew.org/sid/> [abgerufen am 01.05.2019].
- Sell, P. & Murrell, G. 1996. *Flora of Great Britain and Ireland*. Volume 5: Butomaceae – Orchidaceae. Cambridge University Press, Cambridge.
- Soons, M.B. 2006. Wind dispersal in freshwater wetlands: Knowledge for conservation and restoration. *Applied Vegetation Science* 9/2: 271-278.
- Starfinger, U. & Karrer, G. 2016. A standard protocol for testing viability with the Triphenyl Tetrazolium Chloride (TTC) Test. *Julius-Kühn-Archiv* 455: 65-66.
- Tackenberg, O. 2001. Methoden zur Bewertung gradueller Unterschiede des Ausbreitungspotentials von Pflanzenarten. Modellierung des Windausbreitungspotentials und regelbasierte Ableitung des Fernausbreitungspotentials. Dissertation an der Philipps-Universität Marburg.
- Topić, J. & Ozimec, S. 2001. *Typha laxmannii* Lepechin, a new species in the Croatian flora. *Natura Croatica* 10/1: 61-65.
- van Diggelen, R., Hobbs, R.J., Miko, L. 2012. Landscape Ecology. In: van Andel, J. & Aronson (Hrsg.). *Restoration Ecology: the new frontier* (2nd edition). Wiley-Blackwell, Chichester: 45-58.
- Verloove, F. 2015. *Typha laxmannii*. Manual of the Alien Plants of Belgium. Botanic Garden Meise. URL: <http://alienplantsbelgium.be/content/typha-laxmannii> [abgerufen am 25.04.2019].
- Yeo, R.R. 1964. Life History of Common Cattail. *Weeds* 12/4: 284-288.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Population von <i>Typha laxmannii</i> in einem Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld.....	8
Abbildung 2: Regenrückhaltebecken in der Nähe des Bahnhofs Tullnerfeld (20. August 2018).....	11
Abbildung 3: Maße einer Diaspore von <i>Typha laxmannii</i>	13
Abbildung 4: Bereich des Kolbens, aus dem Diasporen entnommen wurden.	15
Abbildung 5: Schalen im Gewächshaus (13.03.2018).	21
Abbildung 6: Schalen im Gewächshaus (08.05.2018).	22
Abbildung 7: Wannen im Gewächshaus (11.05.2018).....	22
Abbildung 8: Schematische Anordnung der Wannen mit vier Wachstumsbedingungen.....	23
Abbildung 9: Wanne 9 im Gewächshaus.	24
Abbildung 10: Bestimmung des Trockengewichts (Wiegen der oberirdischen Teile).	26
Abbildung 11: Gesamtlänge der Diasporen.	28
Abbildung 12: Länge der Pappushaare.....	29
Abbildung 13: Länge des Stiels.....	30
Abbildung 14: Länge des Griffels (inklusive der Narbe).....	31
Abbildung 15: Länge des Samens.	32
Abbildung 16: Durchmesser des Samens.....	33
Abbildung 17: Gewicht von jeweils 1.000 Diasporen.	35
Abbildung 18: Anzahl Diasporen pro Kolben der drei Populationen von <i>Typha laxmannii</i>	36
Abbildung 19: Keimrate des Lichtkeimversuchs im Zeitverlauf.....	37
Abbildung 20: Keimrate am Ende des Lichtkeimversuchs.....	38
Abbildung 21: Keimrate der Samen in % während des Lichtkeimversuchs und Ergebnisse des Drucktests.....	39
Abbildung 22: Keimrate des Dunkelkeimversuchs 1.....	40
Abbildung 23: Keimrate des Dunkelkeimversuchs 2.....	41
Abbildung 24: Mittlere Höhe der Hauptsprosse (Mutterpflanze) zu den Messzeitpunkten.	42
Abbildung 25: Höhe des Hauptsprosses (Mutterpflanze) nach Art/Population und Wachstumsbedingung zum Messzeitpunkt 5.....	43
Abbildung 26: Mittlere Anzahl der Nebensprosse zu den Messzeitpunkten.....	44
Abbildung 27: Anzahl der gebildeten Nebensprosse nach Art/Population und Wachstumsbedingung zum Messzeitpunkt 5.....	45
Abbildung 28: Mittlere Anzahl der unterirdischen Triebe pro Pflanze/Topf.....	46
Abbildung 29: Verhältnis des Trockengewichts der unter- zu den oberirdischen Pflanzenteilen	47
Abbildung 30: Trockengewicht (gesamte Pflanze) nach Art/Population und Wachstumsbedingung. ..	49
Abbildung 31: Trockengewicht (gesamte Pflanze) nach Wachstumsbedingung und Art.....	50
Abbildung 32: Trockengewicht (gesamte Pflanze) nach Wachstumsbedingung und Population bzw. Gewässer für <i>Typha laxmannii</i>	51
Abbildung 33: Kolben von <i>Typha latifolia</i> in einem Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld.....	58
Abbildung 34: <i>Typha laxmannii</i> in einem trockenen Regenrückhaltebecken im Tullnerfeld.....	61

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maße aller <i>Typha</i> -Diasporen, getrennt nach Art.	34
Tabelle 2: Maße der Diasporen von <i>Typha laxmannii</i> , getrennt nach Population bzw. Gewässer.....	34
Tabelle 3: Gewicht von jeweils 1.000 Diasporen, getrennt nach Art.....	35
Tabelle 4: Gewicht von jeweils 1.000 Diasporen von <i>Typha laxmannii</i> , getrennt nach Population bzw. Gewässer.....	36
Tabelle 5: Keimrate am Ende des Lichtkeimversuchs, getrennt nach Art.	38
Tabelle 6: Keimrate von <i>Typha laxmannii</i> am Ende des Lichtkeimversuchs, getrennt nach Population bzw. Gewässer.....	38
Tabelle 7: Unterschiede der Keimraten zwischen dem Lichtkeimversuch (LV) und dem Dunkelkeimversuch 1 (DV1).....	40
Tabelle 8: Einfluss verschiedener Faktoren auf das Trockengewicht (gesamte Pflanze).....	47
Tabelle 9: Einfluss des Substrats und der Wasserhöhe auf das Trockengewicht (gesamte Pflanze)..	48
Tabelle 10: Werte am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 1H (TKS 1 & hoher Wasserstand), getrennt nach Art.....	52
Tabelle 11: Werte am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 1N (TKS 1 & niedriger Wasserstand), getrennt nach Art.....	52
Tabelle 12: Werte am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 2H (TKS 2 & hoher Wasserstand), getrennt nach Art.....	52
Tabelle 13: Werte am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 2N (TKS 2 & niedriger Wasserstand), getrennt nach Art.....	53
Tabelle 14: Werte von <i>Typha laxmannii</i> am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 1H (TKS 1 & hoher Wasserstand), getrennt nach Population/Gewässer	53
Tabelle 15: Werte von <i>Typha laxmannii</i> am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 1N (TKS 1 & niedriger Wasserstand), getrennt nach Population/Gewässer....	53
Tabelle 16: Werte von <i>Typha laxmannii</i> am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 2H (TKS 2 & hoher Wasserstand), getrennt nach Population/Gewässer	54
Tabelle 17: Werte von <i>Typha laxmannii</i> am Ende des Wachstumsversuchs für die Wachstumsbedingung 2N (TKS 2 & niedriger Wasserstand), getrennt nach Population/Gewässer....	54
Tabelle 18: Vergleich des gemessenen Gewichts der Diasporen mit Literaturangaben.	58

8 Anhang (Rohdaten)

Tabelle 19: Maße der Diasporen. Die Werte für jeden Kolben sind arithmetische Mittelwerte der jeweils 10 Einzelmessungen. Ohne Korrektur der Messfehler durch das Messokular! ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummer des Gewässers/Nummer des Kolbens).

Kolben	Länge Diasporen [mm]	Länge Pappus-haare [mm]	Länge Stiel [mm]	Länge Griffel [mm]	Länge Samen [mm]	Durchmesser Samen [mm]
LAX 25/11	6,93	6,42	4,06	2,21	0,75	0,24
LAX 25/12	7,65	6,98	4,82	2,21	0,72	0,24
LAX 25/13	7,08	6,53	4,13	2,36	0,66	0,20
LAX 25/14	7,60	6,98	4,41	2,52	0,76	0,24
LAX 25/15	7,48	6,59	4,85	1,96	0,75	0,23
LAX 25/16	7,45	6,77	4,90	1,88	0,78	0,26
LAX 25/17	6,95	6,39	4,32	1,98	0,72	0,23
LAX 25/18	7,77	7,30	4,76	2,36	0,73	0,24
LAX 25/19	7,92	7,34	5,40	1,83	0,76	0,24
LAX 25/20	7,29	6,82	4,16	2,52	0,71	0,21
LAX 9/1	7,25	6,72	4,50	2,08	0,77	0,22
LAX 9/2	8,03	7,20	5,04	2,29	0,81	0,25
LAX 9/3	8,03	7,34	5,20	2,17	0,77	0,25
LAX 9/4	7,93	6,94	5,05	2,19	0,78	0,24
LAX 9/5	7,96	7,44	4,67	2,58	0,79	0,23
LAX 9/6	7,86	7,33	4,85	2,30	0,79	0,24
LAX 9/7	8,54	7,87	5,48	2,39	0,79	0,24
LAX 9/8	7,97	7,40	4,96	2,36	0,74	0,25
LAX 9/9	7,87	7,52	4,78	2,46	0,72	0,25
LAX 9/10	7,98	7,60	4,84	2,49	0,74	0,25
LAX 24/1	4,83	3,90	2,69	1,56	0,61	0,20
LAX 24/2	3,96	3,11	1,79	1,72	0,51	0,19
LAX 24/3	3,58	2,55	1,69	1,44	0,50	0,15
LAX 24/4	6,86	6,06	4,20	2,02	0,71	0,24
LAX 24/5	4,96	4,25	2,95	1,49	0,60	0,19
LAX 24/6	7,26	6,50	4,75	1,86	0,73	0,24
LAX 24/7	4,51	3,41	2,31	1,68	0,57	0,20
LAX 24/8	6,54	5,81	3,54	2,32	0,76	0,26
LAX 24/9	5,95	5,17	3,55	1,91	0,56	0,21
LAX 24/10	4,87	3,81	2,71	1,62	0,59	0,22
LAT 1	12,84	11,13	7,03	4,59	1,25	0,29
LAT 2	11,95	10,64	6,42	4,41	1,13	0,26
LAT 3	12,60	11,36	7,32	4,14	1,18	0,30
LAT 4	12,95	11,41	7,17	4,65	1,18	0,27
LAT 5	12,72	11,18	7,47	4,11	1,18	0,31
ANG A	6,90	6,30	3,11	3,19	0,72	0,17
ANG B	4,28	4,52	1,52	2,24	0,61	0,14
ANG C	6,48	6,46	2,77	3,04	0,77	0,17
ANG D	4,83	4,19	2,31	2,06	0,53	0,10
ANG E	9,22	9,40	4,82	3,39	1,06	0,32

Tabelle 20: Gewicht und Anzahl der Diasporen. ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummer des Gewässers/Nummer des Kolbens). Zur Anzahl der Diasporen wurde 260 addiert, da diese Zahl zuvor zur Vermessung und zur Gewichtsbestimmung entnommen wurde.

Kolben	Gewicht					Anzahl Diasporen + 260
	250 Diasporen [g]	1.000 Diasporen [g]	Kolben gesamt [g]	Sprossachse ohne Diasporen [g]	alle Diasporen [g]	
LAX 25/11	0,0086	0,0344	2,30	0,14	2,16	63.051
LAX 25/12	0,0085	0,0340				
LAX 25/13	0,0075	0,0300	3,39	0,21	3,18	106.260
LAX 25/14	0,0083	0,0332				
LAX 25/15	0,0080	0,0320				
LAX 25/16	0,0085	0,0340	3,43	0,19	3,24	95.554
LAX 25/17	0,0070	0,0280				
LAX 25/18	0,0088	0,0352				
LAX 25/19	0,0092	0,0368	4,58	0,21	4,37	119.010
LAX 25/20	0,0085	0,0340	3,94	0,23	3,71	109.378
LAX 9/1	0,0082	0,0328	4,02	0,31	3,71	113.370
LAX 9/2	0,0100	0,0400				
LAX 9/3	0,0092	0,0368				
LAX 9/4	0,0098	0,0392	4,01	0,22	3,79	96.944
LAX 9/5	0,0086	0,0344				
LAX 9/6	0,0097	0,0388				
LAX 9/7	0,0110	0,0440	5,92	0,35	5,57	126.851
LAX 9/8	0,0088	0,0352				
LAX 9/9	0,0092	0,0368	3,76	0,21	3,55	96.727
LAX 9/10	0,0096	0,0384	5,25	0,30	4,95	129.166
LAX 24/1	0,0050	0,0200	1,29	0,11	1,18	59.260
LAX 24/2	0,0037	0,0148				
LAX 24/3	0,0027	0,0108	0,96	0,16	0,80	74.334
LAX 24/4	0,0103	0,0412	4,23	0,20	4,03	98.076
LAX 24/5	0,0051	0,0204	0,88	0,08	0,80	39.476
LAX 24/6	0,0084	0,0336	3,62	0,20	3,42	102.046
LAX 24/7	0,0046	0,0184	2,72	0,26	2,46	133.956
LAX 24/8	0,0095	0,0380	4,87	0,27	4,60	121.313
LAX 24/9	0,0060	0,0240				
LAX 24/10	0,0065	0,0260				
LAT 1	0,0232	0,0928				
LAT 2	0,0204	0,0816				
LAT 3	0,0202	0,0808				
LAT 4	0,0194	0,0776				
LAT 5	0,0234	0,0936				
ANG A	0,0118	0,0472				
ANG B	0,0035	0,0140				
ANG C	0,0053	0,0212				
ANG D	0,0038	0,0152				
ANG E	0,0156	0,0624				

Tabelle 21: Rohdaten des Lichtkeimversuchs [1/2] (Anzahl gekeimter Samen bis inkl. Tag 9). AS = Anzahl der Samen, die bis zum Ende des Versuchs vorhanden waren; SA = Anzahl vermutlich nicht vollständig entwickelter Samen, bestimmt mit freiem Auge am Tag 0; SB = Anzahl vermutlich nicht vollst. entw. Samen, bestimmt mit Hilfe des Binokulars am Tag 7; PB = Einschätzung des Pilzbefalls, von 0 (kein Pilz vorhanden) bis 3 (starker Pilzbefall); DT = Anzahl noch fester Samen am Ende des Versuchs (Drucktest mit Pinzette); KR = Keimrate in % am Ende des Versuchs (Tag 23). ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummer des Gewässers/Nummer des Kolbens).

Kolben	AS	SA	SB	PB	DT	KR	Anzahl gekeimter Samen (Start = Tag 0), Tage								
							1	2	3	4	5	6	7	8	9
LAX 25/11	40	7	7	0	7	65	0	0	0	1	4		15	22	24
LAX 25/12	40	3	3	0	12	55	0	0	0	0	1		12	16	20
LAX 25/13	40	7	7	0	5	63	0	0	0	0	2		14	19	23
LAX 25/14	40	16	16	0	9	30	0	0	0	0	0		9	11	11
LAX 25/15	40	5	5	0	0	85	0	0	0	1	6		26	29	31
LAX 25/16	39	4	4	0	5	77	0	0	0	0	0		20	27	29
LAX 25/17	40	10	10	0	11	45	0	0	0	1	3		8	16	17
LAX 25/18	40	3	3	0	5	63	0	0	0	0	2		13	21	25
LAX 25/19	40	5	5	1	8	68	0	0	0	0	2		19	25	27
LAX 25/20	40	2	2	0	12	60	0	0	0	0	0		15	22	23
LAX 9/1	40	5	6	2	3	65	0	0	0	1	3		11	21	22
LAX 9/2	40	4	5	1	4	70	0	0	0	1	6		22	26	26
LAX 9/3	40	1	1	0	1	88	0	0	0	0	3		22	34	35
LAX 9/4	40	3	3	2	1	90	0	0	0	1	11		32	35	35
LAX 9/5	40	7	7	0	5	58	0	0	0	0	5		17	22	23
LAX 9/6	40	8	8	0	8	55	0	0	0	1	3		16	20	21
LAX 9/7	40	9	10	0	22	8	0	0	0	0	1		2	3	3
LAX 9/8	40	2	2	0	1	93	0	0	0	5	17		31	33	36
LAX 9/9	40	3	3	1	8	70	0	0	0	1	3		24	28	28
LAX 9/10	40	0	0	0	6	78	0	0	0	2	12		25	30	30
LAX 24/1	40	24	24	0	0	38	0	0	0	2	9		12	15	15
LAX 24/2	39	9	4	0	23	0	0	0	0	0	0		0	0	0
LAX 24/3	40	19	20	1	12	5	0	0	0	0	0		0	1	1
LAX 24/4	40	8	7	0	1	75	0	0	0	4	24		29	30	30
LAX 24/5	40	26	25	1	1	33	0	0	0	0	3		10	12	12
LAX 24/6	40	9	9	1	4	68	0	0	0	2	5		22	26	27
LAX 24/7	40	7	7	2	18	25	0	0	0	0	0		3	6	6
LAX 24/8	40	2	2	1	29	0	0	0	0	0	0		0	0	0
LAX 24/9	40	9	10	0	15	33	0	0	0	0	0		4	10	11
LAX 24/10	40	2	2	2	16	38	0	0	0	1	1		6	11	11
LAT 1	40	3	3	1	13	55	0	0	0	3	5		13	17	18
LAT 2	40	2	2	2	15	48	0	0	0	2	3		11	13	13
LAT 3	40	2	2	2	5	83	0	0	0	2	10		21	28	30
LAT 4	40	7	8	1	8	60	0	0	0	2	6		15	21	22
LAT 5	40	0	0	0	25	38	0	0	0	1	1		7	13	15
ANG A	40	9	9	2	9	18	0	0	0	1	1		4	4	4
ANG B	40	11	19	3	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
ANG C	40	10	9	3	5	0	0	0	0	0	0		0	0	0
ANG D	40	11	10	3	0	5	0	0	0	1	1		2	2	2
ANG E	40	0	0	0	1	95	0	0	0	21	31		34	34	34

Tabelle 22: Rohdaten des Lichtkeimversuchs [2/2] (Anzahl gekeimter Samen von Tag 10 bis zum Ende des Versuchs am Tag 23). ANG = *T. angustifolia*; LAT = *T. latifolia*; LAX = *T. laxmannii* (mit Nummer des Gewässers/Nummer des Kolbens).

	Anzahl gekeimter Samen (Start = Tag 0), Tage													
Kolben	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
LAX 25/11	25	25	25		25	26	26	26	26	26		26	26	26
LAX 25/12	20	20	20		21	21	21	21	21	21		22	22	22
LAX 25/13	24	24	24		25	25	25	25	25	25		25	25	25
LAX 25/14	12	12	12		12	12	12	12	12	12		12	12	12
LAX 25/15	32	32	32		34	34	34	34	34	34		34	34	34
LAX 25/16	30	30	30		30	30	30	30	30	30		30	30	30
LAX 25/17	18	18	18		18	18	18	18	18	18		18	18	18
LAX 25/18	25	25	25		25	25	25	25	25	25		25	25	25
LAX 25/19	27	27	27		27	27	27	27	27	27		27	27	27
LAX 25/20	23	23	24		24	24	24	24	24	24		24	24	24
LAX 9/1	24	24	26		26	26	26	26	26	26		26	26	26
LAX 9/2	27	27	27		27	27	27	27	28	28		28	28	28
LAX 9/3	35	35	35		35	35	35	35	35	35		35	35	35
LAX 9/4	35	35	35		35	35	36	36	36	36		36	36	36
LAX 9/5	23	23	23		23	23	23	23	23	23		23	23	23
LAX 9/6	21	21	22		22	22	22	22	22	22		22	22	22
LAX 9/7	3	3	3		3	3	3	3	3	3		3	3	3
LAX 9/8	37	37	37		37	37	37	37	37	37		37	37	37
LAX 9/9	28	28	28		28	28	28	28	28	28		28	28	28
LAX 9/10	30	30	30		31	31	31	31	31	31		31	31	31
LAX 24/1	15	15	15		15	15	15	15	15	15		15	15	15
LAX 24/2	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0
LAX 24/3	1	2	2		2	2	2	2	2	2		2	2	2
LAX 24/4	30	30	30		30	30	30	30	30	30		30	30	30
LAX 24/5	12	12	13		13	13	13	13	13	13		13	13	13
LAX 24/6	27	27	27		27	27	27	27	27	27		27	27	27
LAX 24/7	6	6	6		6	8	8	8	9	9		9	10	10
LAX 24/8	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0
LAX 24/9	12	12	13		13	13	13	13	13	13		13	13	13
LAX 24/10	13	13	14		14	14	14	15	15	15		15	15	15
LAT 1	18	19	21		22	22	22	22	22	22		22	22	22
LAT 2	14	14	19		19	19	19	19	19	19		19	19	19
LAT 3	30	30	32		32	33	33	33	33	33		33	33	33
LAT 4	22	22	22		23	24	24	24	24	24		24	24	24
LAT 5	15	15	15		15	15	15	15	15	15		15	15	15
ANG A	4	4	4		6	7	7	7	7	7		7	7	7
ANG B	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0
ANG C	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0
ANG D	2	2	2		2	2	2	2	2	2		2	2	2
ANG E	34	37	37		38	38	38	38	38	38		38	38	38

Tabelle 23: Rohdaten des Dunkelkeimversuchs 1 [1/2] (Anzahl gekeimter Samen bis inkl. Tag 22). AS = Anzahl der Samen, die bis zum Ende des Versuchs vorhanden waren; SA = Anzahl vermutlich nicht vollständig entwickelter Samen, bestimmt mit freiem Auge am Tag 0; SB = Anzahl vermutlich nicht vollständig entwickelter Samen, bestimmt mit Hilfe des Binokulars am Tag 14; PB = Einschätzung des Pilzbefalls, von 0 (kein Pilz vorhanden) bis 3 (starker Pilzbefall); DT = Anzahl noch fester Samen am Ende des Versuchs (Drucktest mit Pinzette); KR = Keimrate in % am Ende des Versuchs (Tag 37). ANG = *T. angustifolia* (Kolben A, D, E); LAT = *T. latifolia* (Kolben 1, 2, 4); LAX = *T. laxmannii* (mit Nummer des Gewässers/Nummer des Kolbens). Am Tag 14 wurde die Alufolie um die Petrischalen entfernt und die Samen dem Licht ausgesetzt. Die Tage 1 bis 13 sind in der Tabelle nicht dargestellt, da keine Samen gekeimt sind.

Kolben	AS	SA	SB	PB	DT	KR	Anzahl gekeimter Samen (Start = Tag 0), Tage									
							14	15	16	17	18	19	20	21	22	
LAX 25/12	40	6	6	0	32	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
LAX 25/18	40	2	2	0	15	53	0	0	0	0	0	0	0	10	14	
LAX 9/10	40	2	3	0	6	68	0	0	0	0	0	3	0	10	18	
LAX 24/9	40	9	10	1	22	13	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
LAT 1	40	0	0	1	37	5	0	0	0	0	0	1	0	1	1	
LAT 2	40	2	2	1	33	10	0	0	0	0	1	2	0	2	2	
LAT 4	40	2	2	2	28	20	0	0	0	0	0	4	0	4	4	
ANG A	40	14	15	2	10	3	0	0	1	1	1	1	0	1	1	
ANG D	40	13	14	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ANG E	40	1	1	1	12	68	0	0	0	0	8	13	0	17	20	

Tabelle 24: Rohdaten des Dunkelkeimversuchs 2 [2/2] (Anzahl gekeimter Samen von Tag 23 bis zum Ende des Versuchs am Tag 37). ANG = *T. angustifolia* (Kolben A, D, E); LAT = *T. latifolia* (Kolben 1, 2, 4); LAX = *T. laxmannii* (mit Nummer des Gewässers/Nummer des Kolbens).

Kolben	Anzahl gekeimter Samen (Start = Tag 0), Tage														
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
LAX 25/12	1	1	1				1		1				1		1
LAX 25/18	16	18	18				21		21				21		21
LAX 9/10	22	23	23				25		26				27		27
LAX 24/9	3	4	4				5		5				5		5
LAT 1	1	1	1				1		2				2		2
LAT 2	2	2	2				4		4				4		4
LAT 4	4	4	4				8		8				8		8
ANG A	1	1	1				1		1				1		1
ANG D	0	0	0				0		0				1		1
ANG E	22	22	22				25		27				27		27

Tabelle 25: Rohdaten des Dunkelkeimversuchs 2 [1/2] (Anzahl gekeimter Samen bis inkl. Tag 10). AS = Anzahl der Samen, die bis zum Ende des Versuchs vorhanden waren; SB = Anzahl vermutlich nicht vollständig entwickelter Samen, bestimmt mit Hilfe des Binokulars am Tag 0; PB = Einschätzung des Pilzbefalls, von 0 (kein Pilz vorhanden) bis 3 (starker Pilzbefall); DT = Anzahl noch fester Samen am Ende des Versuchs (Drucktest mit Pinzette); KR = Keimrate in % am Ende des Versuchs (Tag 24). ANG = *T. angustifolia* (Kolben E); LAT = *T. latifolia* (Kolben Nr. 3); LAX = *T. laxmannii* (Kolben Nr. 8 aus dem Gewässer 9). Am Tag 17 wurde die Alufolie um die Petrischalen entfernt.

Kolben	AS	SB	PB	DT	KR	Anzahl gekeimter Samen (Start = Tag 0), Tage									
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LAX 9/8	40	1	0	7	68					0		0		0	
LAT 3	40	3	2	5	85					0		0		1	
ANG E	40	0	0	4	90					0		0		0	

Tabelle 26: Rohdaten des Dunkelkeimversuchs 2 [2/2] (Anzahl gekeimter Samen von Tag 11 bis zum Ende des Versuchs am Tag 24). ANG = *T. angustifolia* (Kolben E); LAT = *T. latifolia* (Kolben Nr. 3); LAX = *T. laxmannii* (Kolben Nr. 8 aus dem Gewässer 9).

Kolben	Anzahl gekeimter Samen (Start = Tag 0), Tage													
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
LAX 9/8	0				0		0				10		24	27
LAT 3	1				1		1				30		33	34
ANG E	0				0		0				30		36	36

Tabelle 27: Daten des Wachstumsversuchs für die Pflanzen von *Typha laxmannii* aus dem Gewässer 25. Nr. = Nummer der Pflanze; W = Nummer der Wanne; TG = Trockengewicht der ober- und unterirdischen Pflanzenteile sowie das gesamte Trockengewicht; WB = Wachstumsbedingung: Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt, „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Höhe des Hauptsprosses (Mutterpflanze), Anzahl der gebildeten Nebensprosse sowie Höhe des höchsten Nebensprosses jeweils zum Messzeitpunkt 5.

<i>Typha laxmannii</i>, Gewässer 25									
Nr.	W	WB	TG oberird. [g]	TG unterird. [g]	TG gesamt [g]	Anzahl unterird. Triebe	Höhe Haupt-spross [cm]	Anzahl Neben-sprosse	Höhe höchster Neb.spr. [cm]
1	6	1H	2,91	6,39	9,30	13	43,5	6	36,5
2	5	2H	7,71	15,65	23,36	23	61,0	7	54,0
3	7	2N	9,29	22,04	31,33	25	59,0	6	66,5
4	14	2H	8,62	19,91	28,53		56,0	8	53,0
5	15	1N	1,09	2,76	3,85		27,5	4	30,0
6	8	1N	1,29	3,08	4,37	12	29,5	3	29,0
7	16	2N	6,35	14,64	20,99		54,0	5	72,0
8	9	2N	7,39	22,23	29,62		58,5	8	60,0
9	13	1H	1,76	4,21	5,97		35,0	4	31,5
10	5	2H	4,63	11,14	15,77	19	49,0	8	38,0
11	2	2N	6,57	17,86	24,43	21	56,5	8	54,0
12	4	2H	6,71	16,10	22,81	22	46,0	7	46,5
13	10	1N	1,98	4,08	6,06		26,5	4	36,5
14	4	2H	9,10	23,74	32,84	20	52,0	7	62,0
15	10	1N	1,27	3,19	4,46		28,5	5	38,0
16	11	2H	5,85	13,47	19,32		50,0	10	55,0
17	3	1H	1,35	3,46	4,81	11	35,0	4	28,0
18	2	2N	6,36	14,99	21,35	19	54,0	9	50,0
19	15	1N	1,66	5,02	6,68		26,5	6	36,5
20	1	1N	1,42	3,63	5,05	11	22,0	5	28,0
21	11	2H	5,86	13,31	19,17		48,5	8	49,0
22	9	2N	6,52	16,86	23,38		50,0	8	47,5
23	16	2N	5,94	16,74	22,68		58,5	5	56,5
24	1	1N	1,28	3,56	4,84	11	23,0	5	30,5
25	12	1H	3,31	9,58	12,89		30,0	7	47,0
26	3	1H	1,37	3,21	4,58	7	36,0	1	39,0
27	8	1N	0,76	2,25	3,01	5	23,0	3	31,0
28	13	1H	1,98	5,48	7,46		32,5	5	34,0
29	7	2N	10,84	27,74	38,58	32	73,5	10	67,5
30	12	1H	3,00	6,43	9,43		40,0	6	47,0
31	6	1H	2,49	6,22	8,71	12	36,0	3	45,5
32	14	2H	4,91	13,47	18,38		43,5	9	41,5

Tabelle 28: Daten des Wachstumsversuchs für die Pflanzen von *Typha laxmannii* aus dem Gewässer 9. Nr. = Nummer der Pflanze; W = Nummer der Wanne; TG = Trockengewicht der ober- und unterirdischen Pflanzenteile sowie das gesamte Trockengewicht; WB = Wachstumsbedingung; Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt, „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Höhe des Hauptprosses (Mutterpflanze), Anzahl der gebildeten Nebensprosse sowie Höhe des höchsten Nebensprosses jeweils zum Messzeitpunkt 5.

<i>Typha laxmannii</i>, Gewässer 9									
Nr.	W	WB	TG oberird. [g]	TG unterird. [g]	TG gesamt [g]	Anzahl unterird. Triebe	Höhe Haupt-spross [cm]	Anzahl Neben-sprosse	Höhe höchster Neb.spr. [cm]
1	8	1N	1,46	2,61	4,07	7	37,0	2	43,5
2	14	2H	7,87	11,35	19,22		70,0	4	76,5
3	4	2H	6,92	15,81	22,73	16	70,0	5	80,5
4	4	2H	9,08	15,01	24,09	21	67,0	6	80,5
5	16	2N	4,62	8,24	12,86		42,5	3	62,0
6	2	2N	7,83	14,45	22,28	16	60,0	6	73,0
7	11	2H	8,43	15,66	24,09		84,0	2	83,5
8	13	1H	2,17	3,76	5,93		47,0	2	44,0
9	12	1H	4,20	7,33	11,53		52,0	2	68,5
10	14	2H	7,33	12,61	19,94		74,5	4	68,0
11	13	1H	2,00	3,37	5,37		45,5	4	43,0
12	1	1N	2,37	2,89	5,26	9	38,0	4	58,0
13	5	2H	9,91	14,02	23,93	24	79,0	6	72,5
14	12	1H	5,60	8,63	14,23		49,5	4	68,5
15	5	2H	6,82	10,00	16,82	12	74,0	4	73,5
16	7	2N	4,63	6,42	11,05	7	64,5	4	55,0
17	3	1H	2,31	4,74	7,05	6	40,5	3	46,5
18	1	1N	1,74	2,48	4,22	5	32,0	4	41,0
19	9	2N	9,73	17,06	26,79		83,0	4	86,5
20	11	2H	8,65	14,41	23,06		74,0	4	81,0
21	3	1H	2,56	4,75	7,31	11	48,0	3	48,0
22	2	2N	4,80	6,49	11,29	10	59,5	4	63,0
23	15	1N	1,63	3,24	4,87		30,0	2	46,0
24	10	1N	3,48	6,26	9,74		33,0	4	50,5
25	15	1N	2,85	5,31	8,16		45,0	6	50,0
26	9	2N	8,49	17,37	25,86		83,5	2	80,5
27	6	1H	2,98	5,05	8,03	15	42,5	3	51,5
28	7	2N	6,46	11,10	17,56	17	74,0	4	77,0
29	6	1H	2,64	4,82	7,46	8	49,0	3	46,5
30	8	1N	1,53	2,93	4,46	4	38,0	1	52,5
31	10	1N	2,61	4,00	6,61		43,0	1	68,5
32	16	2N	3,12	5,80	8,92		71,0	3	68,5

Tabelle 29: Daten des Wachstumsversuchs für die Pflanzen von *Typha laxmannii* aus dem Gewässer 24. Nr. = Nummer der Pflanze; W = Nummer der Wanne; TG = Trockengewicht der ober- und unterirdischen Pflanzenteile sowie das gesamte Trockengewicht; WB = Wachstumsbedingung: Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt, „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Höhe des Hauptsprosses (Mutterpflanze), Anzahl der gebildeten Nebensprosse sowie Höhe des höchsten Nebensprosses jeweils zum Messzeitpunkt 5.

<i>Typha laxmannii</i>, Gewässer 24									
Nr.	W	WB	TG oberird. [g]	TG unterird. [g]	TG gesamt [g]	Anzahl unterird. Triebe	Höhe Haupt-spross [cm]	Anzahl Neben-sprosse	Höhe höchster Neb.spr. [cm]
1	13	1H	20,57	43,28	63,85		63,0	19	78,5
2	16	2N	10,57	23,83	34,40		80,5	5	80,5
3	5	2H	7,64	15,97	23,61	16	60,5	5	65,5
4	10	1N	7,96	18,85	26,81		46,0	5	57,5
5	8	1N	5,47	12,74	18,21	19	56,5	9	65,5
6	13	1H	1,94	4,38	6,32		28,0	5	42,5
7	7	2N	8,60	15,96	24,56	17	93,0	3	81,0
8	14	2H	5,56	11,68	17,24		66,0	5	70,5
9	5	2H	8,31	16,09	24,40	17	72,5	3	75,0
10	4	2H	11,83	24,55	36,38	30	60,5	8	73,0
11	12	1H	4,87	10,02	14,89		41,0	6	65,5
12	2	2N	8,95	15,49	24,44	24	58,5	6	66,0
13	16	2N	8,78	19,20	27,98		69,5	8	76,5
14	11	2H	9,20	19,48	28,68		61,0	7	65,5
15	7	2N	14,74	26,92	41,66	33	80,0	7	97,0
16	4	2H	7,39	12,85	20,24	17	59,0	5	74,0
17	1	1N	5,30	9,73	15,03	17	50,5	7	56,5
18	9	2N	11,22	22,54	33,76		72,0	9	89,5
19	3	1H	2,21	4,42	6,63	7	39,0	5	44,0
20	6	1H	3,24	5,89	9,13	12	33,5	3	63,5
21	15	1N	7,91	19,80	27,71		54,0	13	52,5
22	11	2H	9,14	17,61	26,75		70,0	5	75,0
23	1	1N	8,09	16,82	24,91	21	32,0	8	54,0
24	15	1N	6,37	15,11	21,48		65,0	4	63,5
25	3	1H	2,48	5,53	8,01	4	38,5	4	56,0
26	10	1N	4,55	11,21	15,76		35,0	6	49,0
27	12	1H	3,07	7,28	10,35		40,0	4	57,0
28	2	2N	5,88	10,04	15,92	10	80,0	4	58,0
29	14	2H	5,52	9,70	15,22		59,5	5	57,0
30	6	1H	2,63	4,82	7,45	10	41,0	6	50,0
31	8	1N	3,06	5,04	8,10	7	57,5	3	58,5
32	9	2N	11,00	22,83	33,83		71,0	11	73,5

Tabelle 30: Daten des Wachstumsversuchs für die Pflanzen von *Typha latifolia*. Nr. = Nummer der Pflanze; W = Nummer der Wanne; TG = Trockengewicht der ober- und unterirdischen Pflanzenteile sowie das gesamte Trockengewicht; WB = Wachstumsbedingung: Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt, „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Höhe des Hauptsprosses (Mutterpflanze), Anzahl der gebildeten Nebensprosse sowie Höhe des höchsten Nebensprosses jeweils zum Messzeitpunkt 5.

<i>Typha latifolia</i>									
Nr.	W	WB	TG oberird. [g]	TG unterird. [g]	TG gesamt [g]	Anzahl unterird. Triebe	Höhe Haupt-spross [cm]	Anzahl Neben-sprosse	Höhe höchster Neb.spr. [cm]
1	13	1H	2,11	4,97	7,08		53,5	1	43,0
2	11	2H	14,14	29,48	43,62		71,0	4	108,0
3	4	2H	7,47	19,24	26,71	7	76,0	3	71,5
4	14	2H	11,01	26,32	37,33		96,5	3	71,0
5	5	2H	7,42	22,77	30,19	4	89,0	3	65,5
6	1	1N	4,10	7,78	11,88	5	47,5	2	57,5
7	12	1H	10,65	22,49	33,14		54,5	2	93,5
8	14	2H	10,40	27,04	37,44		93,5	4	86,0
9	5	2H	6,93	19,28	26,21	3	83,5	5	64,0
10	6	1H	2,22	5,54	7,76	3	57,5	2	11,5
11	7	2N	7,50	19,04	26,54	5	78,0	2	84,0
12	13	1H	5,51	15,02	20,53		64,5	3	77,0
13	16	2N	8,87	16,96	25,83		88,0	3	62,5
14	8	1N	6,22	13,32	19,54	8	72,5	2	42,0
15	10	1N	5,66	13,27	18,93		61,0	2	75,0
16	1	1N	3,94	7,99	11,93	3	54,0	1	58,5
17	15	1N	2,91	5,49	8,40		47,0	1	69,5
18	16	2N	8,13	21,28	29,41		97,5	1	63,0
19	2	2N	10,17	24,76	34,93	10	85,0	3	59,5
20	6	1H	3,21	7,45	10,66	2	66,5	2	17,5
21	9	2N	16,58	38,49	55,07		116,0	2	78,0
22	12	1H	6,03	12,62	18,65		81,5	2	59,5
23	9	2N	7,81	16,15	23,96		79,0	2	59,5
24	4	2H	10,37	22,63	33,00	7	94,5	1	82,0
25	8	1N	2,03	6,26	8,29	1	60,5	0	
26	11	2H	10,08	20,10	30,18		83,5	3	60,0
27	2	2N	14,50	27,52	42,02	7	78,0	3	92,0
28	15	1N	2,16	4,76	6,92		48,0	2	43,5
29	10	1N	4,41	10,43	14,84		51,5	3	57,0
30	3	1H	1,45	3,19	4,64	3	55,5	0	
31	7	2N	9,47	21,43	30,90	4	90,5	2	58,5
32	3	1H	2,25	6,37	8,62	4	53,5	1	43,5

Tabelle 31: Daten des Wachstumsversuchs für die Pflanzen von *Typha angustifolia*. Nr. = Nummer der Pflanze; W = Nummer der Wanne; TG = Trockengewicht der ober- und unterirdischen Pflanzenteile sowie das gesamte Trockengewicht; WB = Wachstumsbedingung: Die zwei Torfkultursubstrate sind mit 1 (TKS 1) und 2 (TKS 2; nährstoffreicher) abgekürzt, „H“ (hoch) und „N“ (niedrig) kennzeichnen die Wasserhöhe. Höhe des Hauptsprosses (Mutterpflanze), Anzahl der gebildeten Nebensprosse sowie Höhe des höchsten Nebensprosses jeweils zum Messzeitpunkt 5.

<i>Typha angustifolia</i>									
Nr.	W	WB	TG oberird. [g]	TG unterird. [g]	TG gesamt [g]	Anzahl unterird. Triebe	Höhe Hauptspross [cm]	Anzahl Nebensprosse	Höhe höchster Neb.spr. [cm]
1	2	2N	9,72	30,40	40,12	8	84,5	1	56,0
2	1	1N	5,91	12,19	18,10	9	55,0	2	58,0
3	10	1N	3,45	7,25	10,70		44,5	2	51,5
4	4	2H	6,03	15,47	21,50	4	66,0	2	75,0
5	9	2N	14,16	38,22	52,38		109,5	2	3,5
6	7	2N	7,74	19,27	27,01	5	80,0	1	59,5
7	12	1H	5,51	11,62	17,13		54,5	2	59,0
8	13	1H	3,47	8,83	12,30		54,0	2	42,5
9	16	2N	13,26	29,90	43,16		97,0	1	77,5
10	5	2H	7,72	16,35	24,07	4	81,5	2	56,0
11	8	1N	20,51	38,92	59,43	11	105,5	3	77,5
12	11	2H	14,11	28,23	42,34		96,0	3	68,5
13	15	1N	8,93	22,50	31,43		71,5	2	87,0
14	3	1H	1,33	2,44	3,77	3	44,5	0	
15	6	1H	2,94	5,62	8,56	5	55,0	1	36,5
16	14	2H	14,22	27,03	41,25		114,0	2	74,5