



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Ökologische und biometrische Untersuchungen zu
Phragmites australis am Neusiedler See“

verfasst von / submitted by

Philipp Holzer, BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien, 2024 / Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Betreut von / Supervisor:

UA 199 502 510 02

Masterstudium Lehramt Sek (AB) UF Biologie und
Umweltbildung UF Geographie und wirtschaftliche
Bildung

Univ.-Prof. Dipl.-Geogr. Dr. Stephan Glatzel

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mich bei der Entwicklung, Erarbeitung und Finalisierung der Masterarbeit unterstützt haben .

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Betreuer:innen Stephan Glatzel und Pamela Baur für deren Expertise, Literaturvorschläge und Ideen zur Entwicklung und Umsetzung der Masterarbeit bedanken.

Ein großer Dank gilt auch Andreas Maier, der mir das Untersuchungsgebiet gezeigt, technische Hilfsmittel zur Verfügung gestellt und die Vorgehensweise zur Erhebung der unterirdischen Biomasse demonstriert hat.

Ebenfalls möchte ich mich bei Beatrix Bethke bedanken, die mir bei der Ermittlung des organischen Kohlenstoffs geholfen hat.

Zusätzlicher Dank gilt dem gesamten Team der Arbeitsgruppe Geoökologie des Instituts für Geographie und Raumforschung der Universität Wien.

Darüber hinaus möchte ich dem Leiter der Biologischen Station Neusiedler See, Thomas Zechmeister und dem gesamten Team für die Nutzung der Station und die Erlaubnis im Naturschutzgebiet arbeiten zu dürfen, herzlich danken.

Außerdem möchte ich mich aufrichtig bei meiner Partnerin bedanken, die mich in jeder Phase der Masterarbeit tatkräftig unterstützt hat. Ob bei der Feldarbeit, dem Tragen des gesamten Equipments durch das Untersuchungsgebiet oder dem Schreibprozess, sie stand mir immer mit Rat und Tat zur Seite.

Schließlich möchte ich den größten Dank jenem Teil meiner Familie widmen, die mich immer uneingeschränkt und in jeglicher Art unterstützt haben. Dies gilt vor allem meiner Mutter, die an mich immer, auch in schwierigen Zeiten, geglaubt und mich gefördert hat. Ich danke besonders ihr für die Ermöglichung einer Ausbildung und der Tatsache, dass ich ohne sie nicht dort wäre, wo ich heute bin. Kurz: Danke Mama!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	IV
Zusammenfassung.....	V
Abstract.....	VI
1. Einleitung	1
2. Forschungsfragen	3
3. Material und Methoden.....	4
3.1 Untersuchungsgebiet.....	4
3.2 Auswahl der Untersuchungsstandorte.....	5
3.3 Feldarbeit.....	10
3.4 Ermittlung der Blattflächen und der Blattflächenindizes von <i>P. australis</i>	12
3.5 Berechnungen zur Ermittlung der Biomasse durch biometrische Daten	13
3.6 Überprüfung der statistischen Signifikanz	13
3.7 Laborarbeit.....	13
3.8 Datenanalyse.....	14
4. Ergebnisse	15
4.1 Biometrische Messungen.....	15
4.2 Blattflächenindizes	25
4.4 Gehalt und Speicherung an organischem Kohlenstoff	28
4.5 Beziehungen zwischen unterschiedlichen Parametern.....	30
4.5.1 Zusammenhang zwischen Halmhöhe beziehungsweise Halmdurchmesser und Masse der Halme	30
4.5.2 Zusammenhang zwischen TOC und Halmhöhe beziehungsweise Halmdurchmesser	32
4.5.3 Zusammenhang zwischen LAI und Halmhöhe beziehungsweise Halmdurchmesser	33
4.5.4 Weitere Zusammenhänge	34
5. Diskussion.....	39
5.1 Biometrische Messungen, Blattflächenindizes und Gehalt und Speicherung an organischem Kohlenstoff	39
5.2 Beziehungen zwischen unterschiedlichen Parametern.....	42
6. Fazit und Implikationen.....	44
Literaturverzeichnis	VI
Anhang.....	XI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der mittlere 90%ige-Footprint der Eddy-Kovarianz-Messanlage in Illmitz, bereitgestellt von Pamela Baur. Das Kreuz stellt die Eddy-Kovarianz-Messanlage dar. Die Linien stellen die prozentualen Stufen des Untersuchungsgebiets dar.	7
Abbildung 2: Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets in Österreich. Außengrenze (orange) zeigt einen Ausschnitt der freien Wasserfläche des Neusiedlersees. Das Untersuchungsgebiet (pink) und vier „Landmarks“ (gelb) sind ebenfalls zu sehen, © Philipp Holzer.	8
Abbildung 3: Ausschnitt aus dem Schilfgürtel bei Illmitz und das Untersuchungsgebiet (gelb) mit den Untersuchungsflächen (lila), © Philipp Holzer.	9
Abbildung 4: Box-Plots zur Anzahl der Halme pro m ² von Halmen mit und ohne Infloreszenz aller POI. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 4, Median= 22, Maximum= 80, Interquartilsabstand= 18, Mittelwert= 26; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 36, Median= 106, Maximum= 280, Interquartilsabstand= 55, Mittelwert= 132.	15
Abbildung 5: Prozentuale Verteilung von Halmen mit und ohne Infloreszenz pro POI.	15
Abbildung 6: Box-Plots zu den Halmhöhen (cm) von Halmen mit und ohne Infloreszenz. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 63,4 Median= 189,6, Maximum= 327,6, Interquartilsabstand= 85,55, Mittelwert= 181,6; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 18,8, Median= 132,7, Maximum= 307,5, Interquartilsabstand= 77,15, Mittelwert= 134.	16
Abbildung 7: Box Plots zum basalen Halmdurchmesser (cm) von Halmen mit und ohne Infloreszenz. Halme mit Infloreszenz: Minimum: 0.2, Median= 0.6, Maximum= 1, Interquartilsabstand= 0.3, Mittelwert= 0,57; Halme ohne Infloreszenz: Minimum: 0.1, Median= 0.4, Maximum= 1.4, Interquartilsabstand= 0,2, Mittelwert= 0,53.	17
Abbildung 8: Vergleich der durchschnittliche Anzahl an Nodien pro POI zwischen Halmen mit und ohne Infloreszenz. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 16, Median= 20, Maximum= 25, Interquartilsabstand= 2,5, Mittelwert= 20; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 9, Median= 13, Maximum= 15, Interquartilsabstand= 2,8, Mittelwert= 13.	17
Abbildung 9: Box-Plots zur Anzahl der Blätter m ⁻² von Halmen mit und ohne Infloreszenz aller POI. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 40, Median= 86, Maximum= 212, Interquartilsabstand= 65, Mittelwert= 107; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 56, Median= 192, Maximum= 1296, Interquartilsabstand= 188, Mittelwert= 340.	18
Abbildung 10: Vergleich Anzahl an Halmen mit und ohne Blätter m ⁻² pro POI.	18
Abbildung 11: Anzahl an Halmen mit Blättern m ⁻² nach Halmhöhengruppen.	19
Abbildung 12: Gewichtsverhältnis zwischen oberirdischer (grün) und unterirdischer (braun) Biomasse (Trockenmasse) pro POI in %.	21
Abbildung 13: Gewichtsverhältnisse der Biomasse (Trockenmasse) aller POI in % zwischen den Gruppen: Halme mit Infloreszenz (grün), Halme ohne Infloreszenz (orange), Litter (pink) und unterirdische Biomasse (braun).	22
Abbildung 14: Verteilung der Trockenmasse (g m ⁻²) zwischen den POI pro untersuchter Gruppe.	23
Abbildung 15: Wasserspeicherung in % der Gruppen Halme mit Infloreszenz, Halme ohne Infloreszenz und Litter aller POI. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 25,55, Median= 39,08, Maximum= 47,27,	

Interquartilsabstand= 12, Mittelwert= 38,15; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 17,24, Median= 35,26, Maximum= 51,32, Interquartilsabstand= 14,67, Mittelwert= 33,81; Litter: Minimum= 34,74, Median= 52,41, Maximum= 62,38, Interquartilsabstand= 16,94, Mittelwert= 51,07.	24
Abbildung 16: Vergleich der Größe der berechneten Blattflächen ($\text{cm}^2 \text{ m}^{-2}$) pro POI.....	25
Abbildung 17: Links: Vergleich zwischen den Werten des berechneten LAI und den Werten des „Licor“ pro POI. Rechts: Box-Plots des berechneten LAI und dem gemessenen LAI („Licor“). LAI berechnet: Minimum= 0,33, Median= 0,84, Maximum= 1,98, Interquartilsabstand= 0,68, Mittelwert= 0,94; LAI („Licor“): Minimum= 1,03, Median= 1,63, Maximum= 3,29, Interquartilsabstand= 0,62, Mittelwert= 1,82.	26
Abbildung 18: Links: Höhe des spezifischen Blattflächenindex pro POI. Rechts: Box-Plot zu den Werten des spezifischen Blattflächenindex: Minimum= 92,02, Median= 126,4, Maximum= 162,03, Interquartilsabstand= 37,66, Mittelwert= 127,68.	27
Abbildung 19: Absolute Speicherung des organischen Kohlenstoffs (TOC) in gC m^{-2} . Halme mit Infloreszenz: Minimum= 30,50; Median= 174,82, Maximum= 299,51, Interquartilsabstand= 114,77, Mittelwert= 174,52; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 70,80, Median= 444,15, Maximum= 996,69, Interquartilsabstand= 243,56, Mittelwert= 449,04; Litter: Minimum= 110,33, Median= 752,83, Maximum= 1981, Interquartilsabstand= 590,47, Mittelwert= 804,80; unterirdische Biomasse: Minimum= 496,35, Median= 2901,86, Maximum= 3758,81, Interquartilsabstand= 2296,67, Mittelwert= 2303,57.	29
Abbildung 20: Relative Speicherung des organischen Kohlenstoffs (TOC) in gC g^{-1} Trockenmasse. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 49,25, Median= 55,17, Maximum= 57,21, Interquartilsabstand= 1,67, Mittelwert= 54,67; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 49,10, Median= 55,04, Maximum= 58,59, Interquartilsabstand= 3,13, Mittelwert= 54,45; Litter: Minimum= 46,26, Median= 53,66, Maximum= 56,34, Interquartilsabstand= 5,53, Mittelwert= 52,25; unterirdische Biomasse: Minimum= 41,24, Median= 49,56, Maximum= 54,63, Interquartilsabstand= 2,68, Mittelwert= 48,97.	30
Abbildung 21: Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Gewicht pro Halm (g) und der durchschnittlichen Halmhöhe (cm). Linie= Trendlinie (Potenz), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,7029, p (Signifikanz)= 0,0033, Variable a= 0,0044, Exponent b= 1,5096.....	31
Abbildung 22: Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Gewicht pro Halm (g) und dem durchschnittlichen, basalen Halmdurchmesser (cm) pro POI. Linie= Trendlinie (Potenz), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,218, p (Signifikanz)= 0,1579, Variable a= 15,725, Exponent b= 1,2563. ...	31
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen TOC (%) der Halme mit und ohne Infloreszenz und der durchschnittlichen Halmhöhe pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0859, p (Signifikanz)= 0,4113.	32
Abbildung 24: Zusammenhang zwischen durchschnittlichem TOC (%) der Halmen mit und ohne Infloreszenz und dem durchschnittlichen, basalen Halmdurchmesser (cm) pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,1189, p (Signifikanz)= 0,3292.	32
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen LAI und der durchschnittlichen Halmhöhe (cm) pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0921, p (Signifikanz)= 0,3941.	33
Abbildung 26: Zusammenhang zwischen LAI und durchschnittlichem, basalem Halmdurchmesser (cm) pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0106, p (Signifikanz)= 0,7773.....	33

Abbildung 27: Zusammenhang zwischen den Blattflächen ($\text{cm}^2 \text{ m}^{-2}$) und der Blattanzahl pro m^2 pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,6863, p (Signifikanz)= 0,003.....	35
Abbildung 28: Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Halmhöhe (cm) und der durchschnittlichen Blattanzahl pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,1644, p (Signifikanz)= 0,2451.....	35
Abbildung 29: Zusammenhang zwischen den LAI-Werten des LICOR und den selbst berechneten Werten aller POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0531, p (Signifikanz)= 0,5215.....	36
Abbildung 30: Zusammenhang zwischen dem spezifischen Blattflächenindex und dem berechneten LAI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0691, p (Signifikanz)= 0,4630.....	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Koordinaten der 10 Untersuchungsstandorte (POI).	6
Tabelle 2: Biometrische Daten aller POI.	XXVI

Zusammenfassung

Das Schilfrohr (*Phragmites australis*) ist eine weitverbreitete Pflanze, welche auf fünf Kontinenten wächst, und vor allem in Europa eine höchst variable Pflanze ist. Aufgrund der unter anderem hohen Anpasstheit an unterschiedliche Lebensräume, wie beispielsweise Moore oder Salzwiesen, ist *Phragmites australis* eine vielseitige Pflanze.

Ziel dieser Masterarbeit war es, Unterschiede sowie Gemeinsamkeiten von *Phragmites australis* hinsichtlich unterschiedlicher Parameter (Blattflächenindizes, Biomasse, organischer Kohlenstoff und biometrischen Untersuchungen) an unterschiedlichen Untersuchungsstandorten/points of interest (POI) des Neusiedlersees zu identifizieren. Darüber hinaus wurde untersucht, ob sich Zusammenhänge zwischen den genannten Parametern feststellen lassen. Schließlich wurde die oberirdische Biomasse anhand der durchschnittlichen Halmhöhe und dem durchschnittlichem, basalem Halmdurchmesser berechnet.

In dieser Arbeit wurden zehn POI randomisiert ausgewählt und im Detail untersucht. Die oberirdische Biomasse von *Phragmites australis* wurde mit einer Gartenschere geerntet, die unterirdische Biomasse wurde mit einem Kunststoffrohr erhoben. Die Halme wurden mit einem Zollstock und einer Schiebelehre vermessen. Die Blattflächenindizes wurden sowohl selbst berechnet als auch mit dem LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer gemessen. Die Trockenmasse sowie der Gehalt an organischem Kohlenstoff von *Phragmites australis* wurden im Labor bestimmt.

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den POI, hinsichtlich der untersuchten Parameter, große Unterschiede herrschen. Durchschnittlich wurde an allen POI $60\% \pm 33\%$ unterirdische Biomasse und $40\% \pm 33\%$ oberirdische Biomasse erhoben. Die oberirdische Biomasse konnte nicht anhand der Halmhöhe beziehungsweise des basalen Halmdurchmessers berechnet werden. Kein signifikanter Zusammenhang konnte zwischen dem Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) und der Halmhöhe ($p=0,41$) beziehungsweise dem basalen Halmdurchmesser festgestellt werden ($p=0,32$). Kein signifikanter Zusammenhang konnte zwischen dem LAI und der Halmhöhe ($p=0,39$) beziehungsweise dem basalen, Halmdurchmesser ($p=0,77$) festgestellt werden. Ein signifikanter Zusammenhang konnte zwischen der Halmhöhe und dem basalen Halmdurchmesser ($p<0,001$), sowie der Anzahl an Nodien festgestellt werden ($p<0,001$).

Abstract

Common reed (*Phragmites australis*) is a widespread plant that grows on five continents and is a highly variable plant, especially in Europe. Due to the high degree of adaptation to different habitats, such as bogs or salt marshes, *Phragmites australis* is a versatile plant.

The aim of this master's thesis was to identify differences and similarities of *Phragmites australis* with regard to different parameters (leaf area indices, biomass, organic carbon and biometric investigations) at different investigation sites/points of interest (POI) of Lake Neusiedl. In addition, it was examined whether connections between the parameters mentioned can be determined. Finally, the aboveground biomass was calculated using the mean stalk height and the mean basal stalk diameter.

In this work, ten POI were randomly selected and examined in detail. The aboveground biomass of *Phragmites australis* was harvested with secateurs, the underground biomass was collected with a plastic tube. The stalks were measured with a folding rule and a slide gauge. Leaf area indices were both self-calculated and measured with the LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer. The dry matter and the organic carbon content of *Phragmites australis* were determined in the laboratory.

The results show that there are large differences between the POIs in terms of the parameters examined. On average, $60\% \pm 33\%$ underground biomass and $40\% \pm 33\%$ aboveground biomass was recorded at all POI. The above-ground biomass could not be calculated using the culm height or the basal culm diameter. No significant connection could be established between the content of organic carbon (TOC) and the stalk height ($p = 0.41$) or the basal stalk diameter ($p = 0.32$). No significant connection could be established between the LAI and the culm height ($p = 0.39$) or the basal culm diameter ($p = 0.77$). A significant correlation could be established between the culm height and the basal culm diameter ($p < 0.001$), as well as the number of nodes ($p < 0.001$).

1. Einleitung

Der globale Rückgang an Feuchtgebieten nimmt seit 1700 besorgniserregende Ausmaße an, da mehr als 80% der natürlich vorkommenden Feuchtgebiete verschwunden sind (vgl. DAVIDSON 2014: 934-935). Das Schilfrohr (*Phragmites australis*) ist in vielen Feuchtgebieten Europas die dominierende Pflanzenart. Dennoch sind die Bestände von *P. australis* auf dem europäischen Kontinent, in den letzten Jahrzehnten, stark zurückgegangen (vgl. GIGANTE et al. 2014: 488). Die Gründe dafür sind vielfältig: erhöhte Anhäufung von abgestorbenen Pflanzmaterial, Parasiten, Beweidung, Eutrophierung sowie andere Faktoren. Der Rückgang von *P. australis* wird als „reed die-back“ bezeichnet (vgl. NEMETH & DVORAK 2022: 684). Nach DINKA et al. (2010) zeigen einige Bereiche des Schilfgürtels am Neusiedler See klare Anzeichen an „reed die-back“. Eine kurze Wachstumsperiode, ein verspätetes Blühstadium sowie ein niedriger Anteil an lebenden Rhizomen sind unter anderem Anzeichen für „reed die-back“ (vgl. BRIX 1999: 6). Im Hinblick auf diese Entwicklungen und Trends entstand die Idee der vorliegenden Masterarbeit.

Das Schilfrohr (*Phragmites australis*) ist eine weitverbreitete Pflanze (vgl. ENGLONER 2009: 331) und bildet große Bestände in seeuferbegleitenden Röhrichten (vgl. SCHIEFERSTEIN 1999: 28). Nach KLUGE & FRÄNZLE (1992) nimmt die Seeuferzone eine Sonderstellung ein, da sie aus ökologischer Sicht ein eigenes, komplexes System bildet und durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet ist:

1. Eine große biologische Biodiversität und Produktivität
2. die Standortverhältnisse haben zwischen aquatischen und terrestrischen Bedingungen große räumliche Variabilität
3. sie weisen komplexe hydrochemische und hydrologische Verhältnisse auf
4. organische Substanz und Nährstoffe werden angereichert.

Schilf hat einige ökologische Funktionen, die nach KIVIAT (2013: 4) in „non-habitat services“ und „habitat functions“ unterteilt werden können. Zu Ersterem zählt beispielsweise, dass *Phragmites australis* Böden in Gezeitensümpfen (engl. tidal marshes) bilden und stabilisieren kann. Darüber hinaus kann es Kohlenstoff in Böden halten. Zu den „habitat functions“ zählt beispielsweise die Tatsache, dass Schilf als Lebensraum, als Nahrung und für den Nestbau vieler Organismen, wie zum Beispiel Vögel, Insekten und Säugetiere dient (vgl. KIVIAT 2013: 5-14). Die kosmopolitische Pflanze wächst unter anderem auf Böden mit unterschiedlicher Feuchtigkeit, pH-Wert und Salzgehalt. Zudem wächst die Pflanze nahezu ausschließlich in monospezifischen Beständen (vgl. DINKA et al. 2010: 237) und ist eine der am regelmäßigsten untersuchten Pflanzen (vgl. ENGLONER 2009: 331).

Zahlreiche Untersuchungen zur Biologie, Ökologie, Wachstumsdynamiken und elementaren Bestandteilen von *Phragmites australis* wurden von unterschiedlichsten Autor:innen bereits

beschrieben (vgl. DYKYJOVÁ & HRADECKÁ 1976; vgl. HASLAM 1972; vgl. PACKER et al. 2017; SIEGHARDT et al. 1986; vgl. MAL & NARINE 2003; vgl. RITTERBUSCH 2007). Dennoch soll ein kurzer Überblick über *Phragmites australis* gegeben werden.

Das gewöhnliche Schilf, *Phragmites australis*, ist eine große mehrjährige Sumpfpflanze mit kräftigen unterirdischen Rhizomen (vgl. PACKER et al. 2017: 1124). Es handelt sich um eine kosmopolitische Pflanze, die auf allen Kontinenten, außer der Antarktis, heimisch ist (vgl. PACKER et al. 2017: 1125). Dieser Umstand wird deutlich, wenn die klimatischen und topographischen Limitationen berücksichtigt werden. *Phragmites australis* ist sowohl in kalten als auch in tropischen (vgl. HASLAM 1972: 587) sowie trockenen Klimazonen der Erde vorkommend (vgl. PFADENHAUER & KLÖTZLI 2014: 246).

Der Stofftransport von *Phragmites australis* weist viele Gemeinsamkeiten dem der meisten mehrjährigen Pflanzen auf. Im Frühling findet der Stofftransport von den Rhizomen zu den Trieben statt, hingegen im August gelangen die Nährstoffe wieder zurück in die Rhizome und werden dort gespeichert (vgl. DYKYJOVÁ & HRADECKÁ 1976: 28). Im späten Frühjahr kann, durch die Einlagerung von Nährstoffen, die Pflanze recht rasch wachsen (vgl. GUNATILAKA 1986: 229).

Die Morphologie der Pflanze ist abhängig vom Genotyp, dem Klima und dem Habitat (vgl. PACKER et al. 2017: 1137). Der Lebenszyklus vom gewöhnlichen Schilf beginnt mit der Bildung einer Knospe aus dem Rhizom einer Pflanze aus der vorherigen Saison. Dieses Rhizom wächst zunächst horizontal, dann aber in vertikale Richtung, wodurch die Knospe nahe des Bodens in Ruhestellung verweilt, bis sie im Frühjahr austreibt (vgl. HASLAM 1972: 596). Aus den Rhizomen bilden sich Halme, die mit Sklerenchym verstärkt (vgl. PACKER et al. 2017: 1138) und hohl sind (vgl. SIEGHARDT et al. 1986: 192). Die Nodienanzahl beträgt nach HASLAM (1972: 596) zwischen 13 und 17, könnte aber auch weniger als sechs betragen. Halme, die inmitten eines Verbandes wachsen sind größer als jene, die am Rande der Ausbreitungsgrenze wachsen. Demnach ist die Ausbildung von Infloreszenzen an Pflanzen, die inmitten eines Verbandes wachsen, wahrscheinlicher als bei Pflanzen, die sich am Rand der Ausbreitungszone befinden (vgl. HASLAM 1972: 598). Die Nodien von Rhizomen und Halmen bilden Blätter aus, die in ihrer Wuchsform unterschiedlich ausgebildet sind. Die Blätter gliedern sich in Blattscheide, Blattspreite und Ligula, ein mehrreihiger Haarkranz. Die Ausbildung der Infloreszenz, eine aus Ährchen zusammengesetzte Rispe, bildet den Abschluss der vegetativen Entwicklung und erscheint Mitte bis Ende Juli (vgl. SIEGHARDT et al. 1986: 192).

Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede, hinsichtlich unterschiedlicher Parameter, sich bei Beständen von *Phragmites australis* an unterschiedlichen POI (points of interest) im Schilfgürtel des Neusiedlersees identifizieren lassen. Folgende Parameter von *P. australis* sollen im Zuge dieser Masterarbeit untersucht werden:

- Blattflächenindex (LAI und spezieller Blattflächenindex)
- Ober- und unterirdische Biomasse (im speziellen organischer Kohlenstoff, Trockengewichtsanalyse)
- Biometrische Untersuchungen (Halmhöhe, Halmdurchmesser, Anzahl der Nodien, Anzahl der Internodien, Anzahl der Blätter pro Pflanze)

„Der Blattflächenindex LAI (engl. Leaf area index) ist eine dimensionslose Maßzahl, die angibt wie viel m^2 Blattfläche pro m^2 Bodenfläche ausgebildet sind“ (KADEREIT et al. 2014: 748). Der LAI steht mit Vegetationsprozessen wie Flüssigkeitsaufnahme und CO_2 Austausch stark in Verbindung und kann Aufschluss über die räumliche Leistungsfähigkeit (engl. spatial performance), wie beispielsweise die Ermittlung von Stress und Vorhersage der Produktivität, geben (vgl. STRACHAN, STEWART & PATTEY 2005: 179).

Die Biomasse ist ein wichtiger Parameter, um die Effekte menschlichen Handels auf die Biosphäre, besser verstehen zu können. Seit der Entstehung der menschlichen Zivilisation ist die pflanzliche Biomasse um das Doppelte zurückgegangen (vgl. ERB et al. 2018: 73). Eine quantitative Untersuchung von Biomasse ist hinsichtlich der Kohlenstoff-Sequestration und für das Verständnis von geochemischen Zyklen von zentraler Bedeutung (vgl. BAR-ON et al. 2018: 6506).

Zudem soll herausgefunden werden, ob sich Beziehungen beziehungsweise Gleichungen zwischen den genannten Parametern herstellen lassen. Unter anderem soll genauer untersucht werden, ob sich ein Zusammenhang zwischen der Biomasse und biometrischen Daten von *Phragmites australis* herstellen lässt.

2. Forschungsfragen

Folgende Fragen sollen im Zuge dieser Masterarbeit beantwortet werden:

- Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede lassen sich bei Beständen von *Phragmites australis*, hinsichtlich LAI, organischem Kohlenstoff der Biomasse und biometrischen Untersuchungen an unterschiedlichen POI des Neusiedlersees identifizieren?
- Welche Zusammenhänge lassen sich zwischen den Parametern LAI, Biomasse und biometrischen Untersuchungen identifizieren?
 - Kann die Biomasse anhand von biometrischen Untersuchungen (Schilfhöhe und -durchmesser, Anzahl der Blätter) berechnet werden?
 - Hängt der Gehalt an organischem Kohlenstoff mit der Schilfhöhe und -durchmesser zusammen?
 - Hängt der LAI mit der Schilfhöhe und dem Schilfdurchmesser zusammen?

3. Material und Methoden

Bei dieser Masterarbeit handelt es sich um eine empirische Arbeit. Es wurden Erhebungen im östlichen Teil des Neusiedler Sees, im Schilfgürtel nahe Illmitz, durchgeführt. Die Felduntersuchungen fanden im Rahmen des Dissertationsprojekts „Treibhausgasaustausch des Schilfgürtels am Neusiedlersee bei Illmitz“ von Pamela Baur statt.

Die Feldarbeit fand an folgenden Tagen statt: 25.10.2022, 27.10.2022, 29.10.2022, 31.10.2022, 3.11.2022 und 7.11.2022.

3.1 Untersuchungsgebiet

Der Neusiedler See stellt einen Hot Spot der Biodiversität dar und liegt zwischen den letzten Ausläufern der Ostalpen und der ungarischen Tiefebene. Grund für die hohe Biodiversität sind unter anderem die Verbreitungsgrenzen zahlreicher Tier- und Pflanzenarten, die am Neusiedler See aus westlicher und östlicher Himmelsrichtung aufeinandertreffen (vgl. DVORAK et al. 2016: 5). Der Schilfgürtel des Neusiedler Sees bedeckt, unter Einbeziehung der Schilf-Festland-Übergangszone, in etwa 181 km², wobei 64 km² auf ungarischer Seite und 117 km² auf österreichischer Seite liegen. Es ist nach dem Donaudelta das größte zusammenhängende Schilfgebiet Europas (vgl. CSAPLOVICS 2019: 503). Aufgrund der durchschnittlichen Wassertiefe von 1,10 m und der großen Ausdehnung der Wasserfläche, mit einer Länge von in etwa 36 km und einer Breite von in etwa 12 km, kommt es bei Wind zu einer starken Durchmischung des Wassers und, damit einhergehend, zu einer Trübung des Gewässers. Die Wassertemperatur kann aufgrund des pannonischen Klimas im Sommer auf 30°C ansteigen. Ein weiteres Charakteristikum des Neusiedlersees ist der erhöhte Salzgehalt, der auf Natriumkarbonat zurückzuführen ist und mitbestimmend für die typische Flora und Fauna ist (vgl. DICK et al. 1994: 4). Das Gebiet des Neusiedler Sees ist als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen und wurde gemeinsam mit den Flächen des Nationalparks zum Natura 2000 Gebiet nominiert. Der Nationalpark besteht aus einer Schutzzone (in etwa 5500 ha) und einer Bewahrungszone (in etwa 4000 ha). Bereits 1977 wurde der österreichische Teil des Sees zum Biosphärenpark (vgl. SAILER & MARACEK 2019: 484).

Wie bereits erwähnt fanden die Felduntersuchungen im Rahmen der Dissertationsarbeit von Pamela Baur statt. Dabei beschäftigt sich Pamela Baur *„mit der Quantifizierung und Verbesserung des Prozessverständnisses der Methan-, Kohlenstoffdioxid- und Wasserdampf-Flüsse im Schilfgürtel des Neusiedlersees. Dafür werden seit Ende 2018 mittels einem kontinuierlich messenden Eddy-Covariance-Turm zeitlich hochaufgelöste Daten erhoben und diese nun erstmalig ausgewertet. Dabei wird auch der Einfluss der Trockenperioden und weiteren Biomet-Parametern auf die Kohlenstoff- und Wasserbilanz des Schilfgürtels untersucht. Ein*

weiterer Schwerpunkt ihrer Dissertation, ist die Quali- und Quantifizierung der unterschiedlichen Transportwege der Methanflüsse im Schilfgürtel sowie die Untersuchung des Tageszyklus der Methanflüsse in den verschiedenen Jahreszeiten. Dafür werden über einen Zeitraum von 2 Jahren vierteljährlich 24 Stunden-Messkampagnen mit verschiedenen Messkammern durchgeführt, um auch mittels Kohlenstoffisotopien auf die Prozesse rückschließen zu können“ (Universität Wien o.D.).

3.2 Auswahl der Untersuchungsstandorte

Die Auswahl der Untersuchungsstandorte (points of interest, POI) erfolgte randomisiert auf Basis eines Bildes, das Pamela Baur zur Verfügung gestellt hat und in Abbildung 1 ersichtlich ist. Das Bild zeigt den mittleren 90-prozentigen Footprint des Eddy-Kovarianz-Messturms, welcher den Treibhausgasaustausch (CO_2 , CH_4 und H_2O) zwischen dem Schilfgürtel und der Atmosphäre misst, welche in prozentualen Stufen unterteilt ist. Die Größe des Untersuchungsgebiets wurde auf 80% der Messreichweite begrenzt, da 90% insgesamt größer sind als alle anderen prozentualen Stufen zusammen sind. Die POI wurden mit Hilfe der Kartenerstellungssoftware „QGIS“ randomisiert ausgewählt (vgl. QGIS 2020, Version 3.10). Zunächst wurde das Bild, das Pamela Baur zur Verfügung gestellt hat, als Grundlage für die Erstellung einer Karte herangezogen. Dabei diente es als eigener „Layer“ auf Basis dessen mithilfe der Funktion „Polygonobjekt hinzufügen“ das Untersuchungsgebiet erstellt wurde. Mit dem Forschungswerkzeug „zufällige Punkte in Polygonen“ wurden die Untersuchungsstandorte randomisiert erstellt. Es wurden insgesamt 10 POI erstellt, die in Abbildung 2 dargestellt sind. Zur besseren Orientierung im Untersuchungsgebiet wurden die Koordinaten (Universale Transversale Mercator Koordinatensystem) der POI in die Handy-Applikation „GPS-Tracks“ transferiert, wodurch es möglich war die zuvor randomisiert ausgewählten Untersuchungsstandorte im Untersuchungsgebiet zu finden (vgl. MORNEUALT D. 2022, Version 4.2.7). Die Koordinaten der einzelnen POI sind in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Koordinaten der 10 Untersuchungsstandorte (POI).

Untersuchungsstandorte	Koordinaten
POI 1	47.76906° N, 16.75928° E
POI 2	47.76931° N, 16.75874° E
POI 3	47.76963° N, 16.75769° E
POI 4	47.76990° N, 16.75653° E
POI 5	47.77053° N, 16.75821° E
POI 6	47.77056° N, 16.75752° E
POI 7	47.77058° N, 16.75615° E
POI 8	47.76871° N, 16.75868° E
POI 9	47.76866° N, 16.75812° E
POI 10	47.76810° N, 16.75896° E

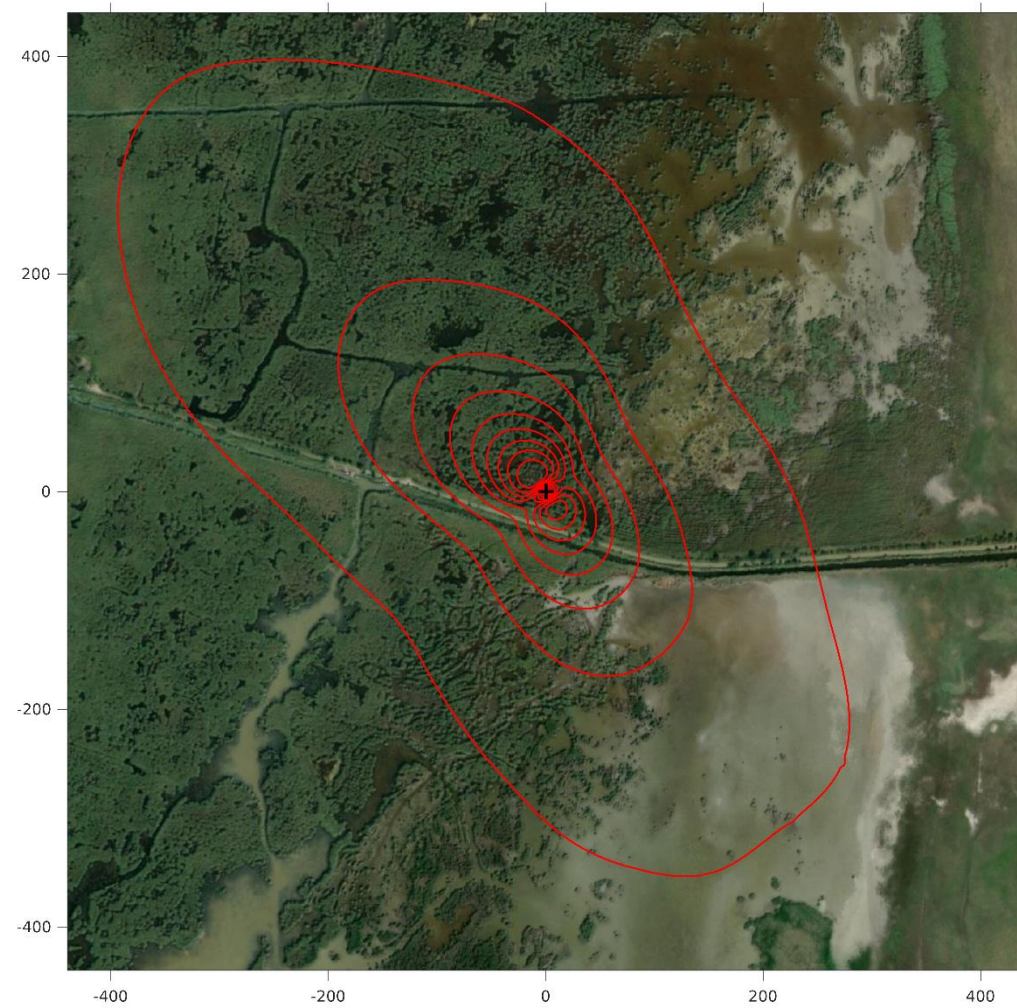
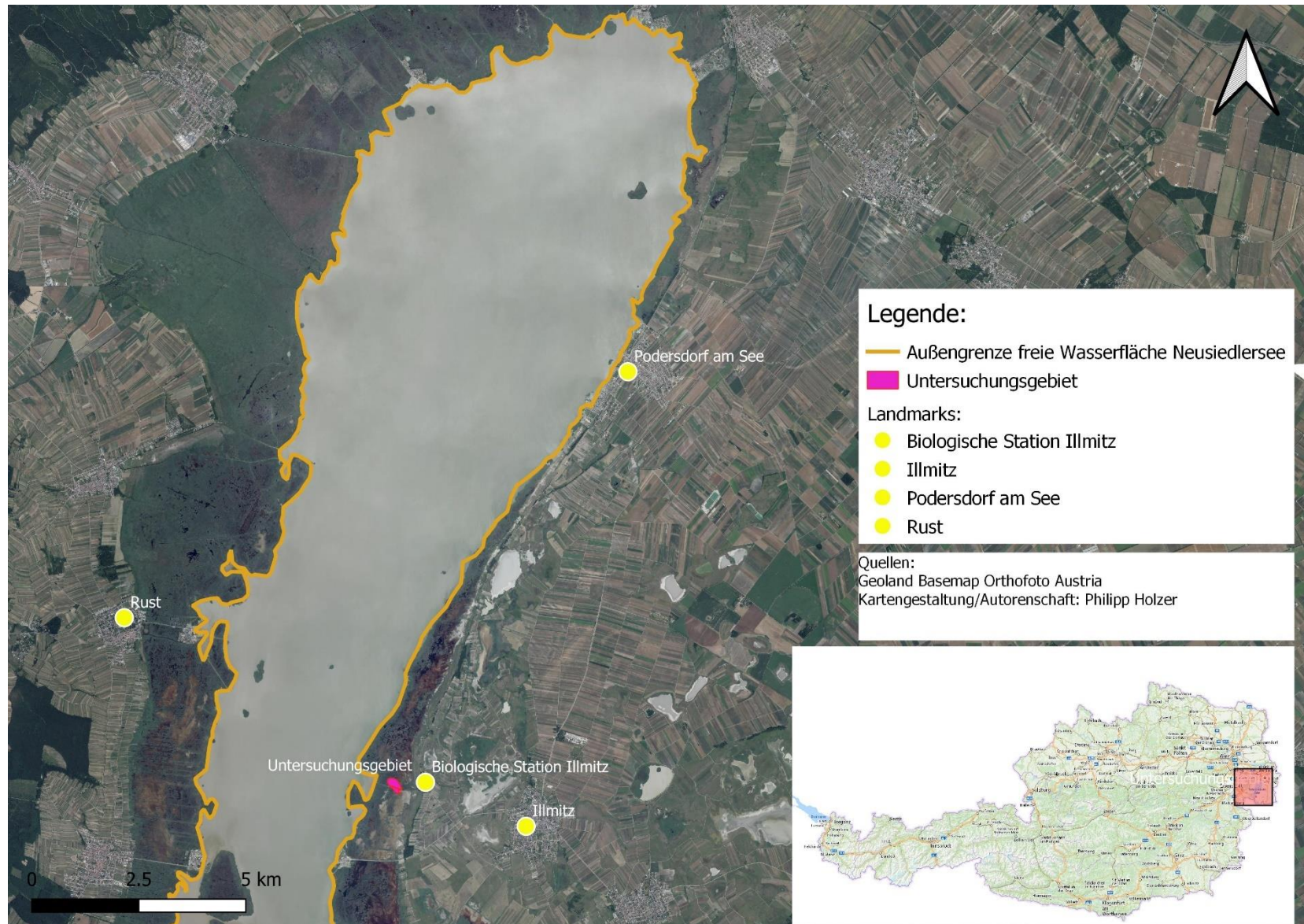


Abbildung 1: Der mittlere 90%ige-Footprint der Eddy-Kovarianz-Messanlage in Illmitz, bereitgestellt von Pamela Baur. Das Kreuz stellt die Eddy-Kovarianz-Messanlage dar. Die Linien stellen die prozentualen Stufen des Untersuchungsgebiets dar.



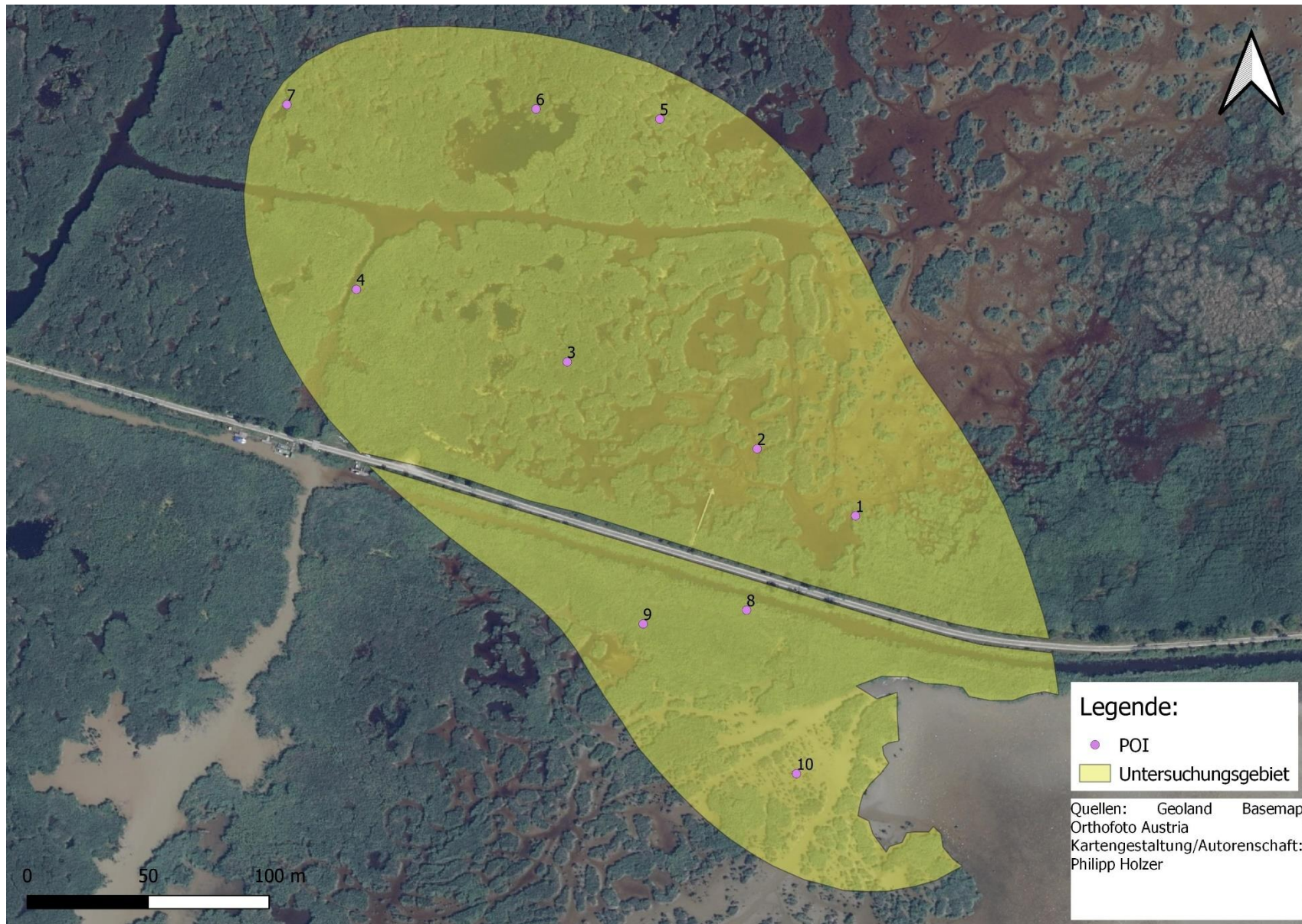


Abbildung 3: Ausschnitt aus dem Schilfgürtel bei Illmitz und das Untersuchungsgebiet (gelb) mit den Untersuchungsflächen (lila), © Philipp Holzer.

3.3 Feldarbeit

Mithilfe der Handy-Applikation „GPS-Tracks“ (vgl. MORNEUALT D. 2022, Version: 4.2.7) wurden die Untersuchungsstandorte im Untersuchungsgebiet begangen (siehe Anhang Bild 4). Nach Erreichen eines Untersuchungsstandorts wurde zunächst die Untersuchungsfläche jedes Standorts mit einem selbstgebauten Rahmen (Maße 50 cm mal 50 cm) begrenzt (siehe Anhang Bild 5). Die Größe der Untersuchungsfläche von 2500 cm² wurde deswegen angewendet, da sich das Untersuchungsgebiet innerhalb des Nationalparks Neusiedler-See-See-winkel befindet. Um den Störungseinfluss und den Eingriff möglichst gering zu halten wurde daher auf eine größere Untersuchungsfläche verzichtet. An jedem Untersuchungsstandort wurden repräsentative Proben von *Phragmites australis* mit entsprechenden Werkzeugen geerntet und vermessen. Die Messungen des Blattflächenindex (siehe Anhang Bild 6) beziehungsweise „leaf-area-index“ (LAI) wurde mithilfe des Messgeräts „LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer“ gemessen. Dieser ist mit einem hemisphärischen Lichtsensor LAI-2050 und einem Datenlogger LAI-2070 mit einer Speicherkapazität von 128 MB ausgestattet. Die Strahlung wird mithilfe des Lichtsensors in fünf konzentrischen Ringen mit je unterschiedlichen Zenitwinkelbereichen gemessen. Die Bereiche sind folgendermaßen gegliedert: 0,0 - 12,3°; 16,7 - 28,6°; 32,4 - 43,4°; 47,3 - 58,1° und 62,3 - 74,1° (vgl. GREVE 2010: 17). Das Messgerät besitzt einen Filter, durch welchen Strahlung ausschließlich im Wellenbereich von 320-490 nm aufgenommen wird. Das hat den Grund, da in diesem Längenwellenbereich der Anteil an transmittierter, und durch die Vegetation reflektierter Strahlung, sehr gering ist (vgl. LEBLANC et. al 2005: 194). Da der „LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer“ empfindlich gegenüber allen lichtblockierenden Objekten ist, wäre der Begriff „foliage-area-index“ angemessener (vgl. LICOR 2016: 5). Das Messgerät ist mit einer Kamera ausgestattet, mit deren Hilfe die Messungen durchgeführt wurden. Zuerst wurden Messungen knapp über der Bodenoberfläche getätigt. Im Anschluss daran wurde über der jeweiligen Untersuchungsfläche gemessen. Um gewährleisten zu können, dass immer auf der gleichen Höhe gemessen wird, wurde zur Orientierung ein Zollstock verwendet. Über der Bodenfläche wurde auf einer Höhe von 5 cm gemessen und über der Untersuchungsfläche wurde in 2 m Höhe gemessen. Mit beiden Messungen (über der Bodenoberfläche und über der Untersuchungsfläche) wurde für jeden Untersuchungsstandort der LAI ermittelt.

Der nächste Arbeitsschritt umfasste das Ernten beziehungsweise Einsammeln der oberirdischen und unterirdischen Biomasse von *P. australis*. Zuvor wurden vier Gruppen erstellt, um vergleichende, statistische Analysen durchführen zu können. Aufgrund der fortgeschrittenen Vegetationsperiode war es nicht möglich die Schilfpflanzen nach dem Alter zu kategorisieren.

Folgende Gruppierungen wurden erstellt:

1. Halme mit Infloreszenz
2. Halme ohne Infloreszenz
3. „Litter“ beziehungsweise abgestorbene, oberirdische Biomasse
4. Unterirdische Biomasse

Die unterirdische Biomasse wurde nicht weiter in Rhizome und Wurzeln unterschieden. Zunächst wurden alle Halme knapp über der Bodenoberfläche mit einer Gartenschere abgeschnitten (siehe Anhang Bild 7). Hier erfolgte bereits die erste Sortierung in „Halme mit Infloreszenz“ und „Halme ohne Infloreszenz“. Beide Gruppen wurden je in separate Plastiksäcke eingesammelt. Die Erntemethode, zur Ermittlung der oberirdischen Biomasse führt zur Zerstörung kleinerer Schilfbestände, jedoch ist sie die einzige Methode, um Primärdaten zur Biomasse zu erhalten (vgl. SIEGHARDT et al. 1984: 39). Die abgestorbene, oberirdische Biomasse („litter“) wurde ebenfalls in einen eigenen Plastiksack eingesammelt. Die unterirdische Biomasse wurde mit Hilfe eines modifizierten Rohrs (siehe Anhang Bild 8), mit 11 cm Innendurchmesser, aus Kunststoff erhoben (vgl. DINKA et al. 2010: 239). Dieses Rohr wurde bei 30 cm markiert, wodurch es möglich war das Rohr immer in die gleiche Tiefe zu schlagen. Mit einem Holzpflock (Länge: 92 cm, Breite: 15 cm) wurde das Rohr in den Boden geschlagen (siehe Anhang Bild 9). Auf das eingeschlagene Rohr wurde ein passender Deckel platziert. Durch den entstehenden Unterdruck konnte die unterirdische Biomasse erhoben werden. Die Probe wurde anschließend ebenfalls in einen eigenen Plastiksack gegeben.

Die Vermessung der eingesammelten Halme erfolgte im Anschluss an das Einsammeln beziehungsweise der Erhebung der oberirdischen und unterirdischen Biomasse. Hierbei wurden ausschließlich Halme mit und ohne Infloreszenz vermessen. Die Höhe der Halme wurde mit einem Zollstock gemessen und auf ein Zehntel nach der Kommastelle gerundet. Der basale Durchmesser wurde mit einer Schiebelehre der Marke Inox erhoben und ebenfalls auf ein Zehntel nach der Kommastelle gerundet (siehe Anhang Bild 10). Die Anzahl an Nodien und Internodien wurde durch Zählen ermittelt. Nach der Vermessung wurden die Blätter jeder einzelnen Pflanze eingesammelt und entsprechend kategorisiert und sortiert. Diese wurden gesammelt, um einerseits den tatsächlichen Blattflächenindex zu bestimmen und andererseits, um den spezifischen Blattflächenindex berechnen zu können. Um die Bestände besser transportieren zu können, wurden die Halme mit und ohne Infloreszenz kleiner geschnitten und wiederum in die entsprechenden Plastiksäcke gegeben.

Um sowohl den Blattflächenindex als auch den spezifischen Blattflächenindex berechnen zu können, wurden die eingesammelten Blätter in der Biologischen Station Illmitz mit einem Scanner eingescannt. Das Modell „CanoScan 9000F“ von dem Hersteller „Canon“ wurde für diesen Arbeitsschritt verwendet. Nachdem die Scanfläche des Scanners zu klein war, um ganze Blätter von *Phragmites australis* zu scannen, wurden diese in mehrere, kleinere Fragmente mit

einer Schere zerkleinert. Jedes einzelne Blatt wurde gescannt. Um die Blattflächen berechnen zu können, wurde als Größenreferenz bei jedem Scan ein Lineal mitgescannt (siehe Anhang Bild 11).

Die Plastiksäcke mit den entnommenen Proben wurden zwischen dem Zeitpunkt der Feldarbeit und der Laborarbeit auf dem eigenen Balkon bei Außentemperatur gelagert.

3.4 Ermittlung der Blattflächen und der Blattflächenindizes von *P. australis*

Die Berechnung der Blattflächen pro Untersuchungsstandort erfolgte mit der Software „ImageJ“. Dazu wurden alle eingescannten Bilder nachfolgendem Prinzip bearbeitet: Zunächst wurde das miteingescannte Lineal, als bekanntes Längenmaß, als Referenz herangezogen. Anschließend wurden die Farbbilder in Schwarz-Weißbilder umgewandelt. Danach wurde jedes Blattfragment ausgewählt und in einer Zwischenablage abgespeichert. Sobald alle Blattfragmente eines Scans ausgewählt wurden, wurde die Blattfläche pro Scan ermittelt. Dieser Vorgang wurde für jedes Bild wiederholt und am Ende wurden die Blattflächen pro Untersuchungsstandort zusammenaddiert.

Der Blattflächenindex (LAI) lässt sich wie folgt berechnen:

$$\text{LAI} = s/G \text{ (vgl. SCURLOCK et al. 2001: 2)}$$

s ist die einseitige Blattfläche (m²) des Laubdaches (engl. canopy), die auf eine Bodenfläche G (m²) projiziert wird. Somit lässt sich der Blattflächenindex als das Verhältnis von einseitiger Blattfläche und Bodenfläche definieren. Der LAI ist von essenzieller Bedeutung, wenn unter anderem die Menge an abgefangenem Licht durch das Laubdach (engl. canopy) bestimmt werden soll (vgl. SCURLOCK et al. 2001: 2).

Darüber hinaus wurde der spezifische Blattflächenindex bestimmt, der sich wie folgt definieren lässt:

$$\text{SLA} = \text{leaf area/leaf dry mass} \text{ (vgl. HODGSON et al. 2011: 1338)}$$

„leaf area“ besitzt die Einheit „cm²“ und „leaf dry mass“ die Einheit Gramm (g). Der spezifische Blattflächenindex kann herangezogen werden, um unter anderem um den Zuwachs an Kohlenstoff zu schätzen (vgl. XIAO et al. 2006: 304). Wie die Trockenmasse der Blätter ermittelt wurde, wird unter „3.7 Laborarbeit“ näher beschrieben.

3.5 Berechnungen zur Ermittlung der Biomasse durch biometrische Daten

Zur Ermittlung, ob Zusammenhänge zwischen der oberirdischen Biomasse und der Halmhöhen beziehungsweise dem basalen Halmdurchmesser festgestellt werden können, wurde die Vorgehensweise von KAUPPI et al. (1983: 52) verwendet, deren Berechnung wie folgt aussieht:

$$w = a h^b$$

wobei w das Halmtrockengewicht (g) ist und h die Halmhöhe (m) beschreibt. Die Variable a sowie der Exponent b sind statistische Werte, welche durch „Microsoft Excel 2016“ errechnet wurden. Der Zusammenhang wurde nicht mit einer linearen Trendlinie berechnet, weil dies nach BASKERVILLE (1972) zu verfälschten Werten führt.

3.6 Überprüfung der statistischen Signifikanz

Zur Überprüfung, ob die Unterschiede hinsichtlich der Parameter LAI, organischem Kohlenstoff der Biomasse und biometrischen Untersuchungen, signifikant sind, wurde der zwei Stichproben t -Test verwendet (vgl. Wikimedia Foundation Inc. 2023). Sämtliche Zusammenhänge wurden anhand des p -Wertes (Signifikanzniveau: $p < 0,05$) auf ihre Signifikanz geprüft.

3.7 Laborarbeit

Die Laborarbeit umfasste mehrere Arbeitsschritte, die am Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Wien durchgeführt wurden. Zunächst musste die unterirdische Biomasse aus der entnommenen Bodenprobe ausgewaschen werden. Dafür wurden drei Analysesiebe mit den Maschenweiten 630 μm , 200 μm und 800 μm verwendet (siehe Anhang Bild 12). Die gewonnene unterirdische Biomasse wurde für den Trocknungsprozess in Glasgefäße gegeben. Die oberirdische Biomasse wurde erneut mit einer Gartenschere klein geschnitten, damit diese ebenfalls in Glasgefäße gegeben werden konnte. Um die Wasserspeicherung der Proben berechnen zu können, wurde vor dem Trocknungsprozess die Frischmasse der Gruppen Halme mit Infloreszenz, Halme ohne Infloreszenz und Litter gewogen. Die Berechnung des Wasserverlustes der unterirdischen Biomasse war nicht möglich, da, wie bereits erwähnt, vor Bearbeitung der unterirdischen Biomasse, diese zuvor mit Wasser ausgewaschen wurde. Um das Trockengewicht der Proben zu ermitteln, wurde sowohl die oberirdische als auch die unterirdische Biomasse anschließend in einen Trockenschrank des Herstellers „Binder“ platziert und bei 60°C getrocknet (siehe Anhang Bild 13). Da Wasser bei 60°C verdunstet aber die Mineralien und der Kohlenstoffgehalt erhalten bleiben, wurde diese Temperatur für den Trocknungsprozess gewählt (vgl. BEAUCHAMP 2018). Die Proben wurden so lange getrocknet, bis

sich das Trockengewicht nicht mehr änderte. Um dies zu gewährleisten, wurden jeden Tag stichprobenartige Wiegunen durchgeführt. Durchschnittlich hat der Trocknungsprozess 48 Stunden gedauert. Um den Wasserverlust der oberirdischen Biomasse zu ermitteln, wurde diese, bevor sie in den Trockenschrank platziert wurde, auf ihr Frischgewicht gewogen. Um das Trockengewicht der Proben zu bestimmen, wurde nach dem Trocknungsprozess sowohl die oberirdische als auch die unterirdische Biomasse gewogen.

In einem nächsten Schritt wurden die Proben für die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs vorbereitet. Dafür wurden repräsentative Proben, aus jeder zuvor definierten Gruppe, aus jedem Untersuchungsstandort, entnommen und mit einem Gerät des Herstellers „Retsch MM 400“ klein gemahlen. Dafür wurden die Proben zuerst weiter mit einer Gartenschere zerkleinert und anschließend in ein Metallgefäß gegeben. Eine Kugel aus Metall wurde ebenfalls hinzugefügt, um die Probe in eine gemahlene Struktur zu zerkleinern. Die Proben im Metallcontainer wurden insgesamt zwei Minuten mit 25 Umdrehungen pro Sekunde gemahlen. Die unterirdische Biomasse musste drei, teilweise vier Minuten gemahlen werden. Die gewonnenen Proben wurden anschließend in kleine Säckchen aus Papier und Kunststoff gegeben und gewogen (siehe Anhang Bild 14). Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (total organic carbon, TOC) wurde mit dem Messgerät „LECO RC612 Series“ bestimmt. Organische Lebewesen zersetzen sich zu CO₂ bei Temperaturen von 150°C bis 450°C. Indem das Probenmaterial auf diese Temperaturen erhitzt wird, kann der TOC gemessen werden (vgl. LECO COOPERATION 2018: 1). Aus jeder Probe wurde jeweils 1 g Probenmaterial entnommen und in entsprechende Tiegel gegeben. Zusätzlich wurde das entnommene Probenmaterial mit Quarzsand bedeckt, damit die gemahlenen Proben von *P.australis* nicht verbrennen (siehe Anhang Bild 15). Der Vorgang wurde für jede zuvor festgelegte Gruppe, aus jedem Untersuchungsstandort, doppelt durchgeführt.

3.8 Datenanalyse

Die statistische Datenauswertung, sowie die Erstellung aller Diagramme und Tabellen, wurde mit „Microsoft Excel 2016“ ausgeführt. Die Kartenerstellung erfolgte mit dem Programm „QGIS“ (Version 3.10.1). Die Blattflächen wurden mit dem Programm „ImageJ“ (Version 1.53) berechnet. Um die Ergebnisse dieser Arbeit mit anderen Studien vergleichbar zu machen, wurden nahezu alle Ergebnisse auf eine Untersuchungsfläche von 1 m² berechnet und auch dargestellt. Jene Ergebnisse, die nicht umgerechnet worden sind, sind dementsprechend klar von den anderen Ergebnissen abgegrenzt.

4. Ergebnisse

4.1 Biometrische Messungen

Insgesamt wurden an allen Untersuchungsstandorten 1588 Halme, sowohl mit als auch ohne Infloreszenz, geerntet. Anteilsmäßig wurden 83% Halme ohne Infloreszenz und 17% Halme mit Infloreszenz gefunden. Zudem wurden an allen Untersuchungsstandorten anzahlmäßig, signifikant ($t = 4,06$) mehr Halme ohne Infloreszenz (Mittelwert = 132) als mit Infloreszenz (Mittelwert = 26) erhoben (Abb. 4 und Abb. 5). Eine Übersicht über die hochgerechneten Ergebnisse ist in Tabelle 2 (siehe Anhang) ersichtlich.

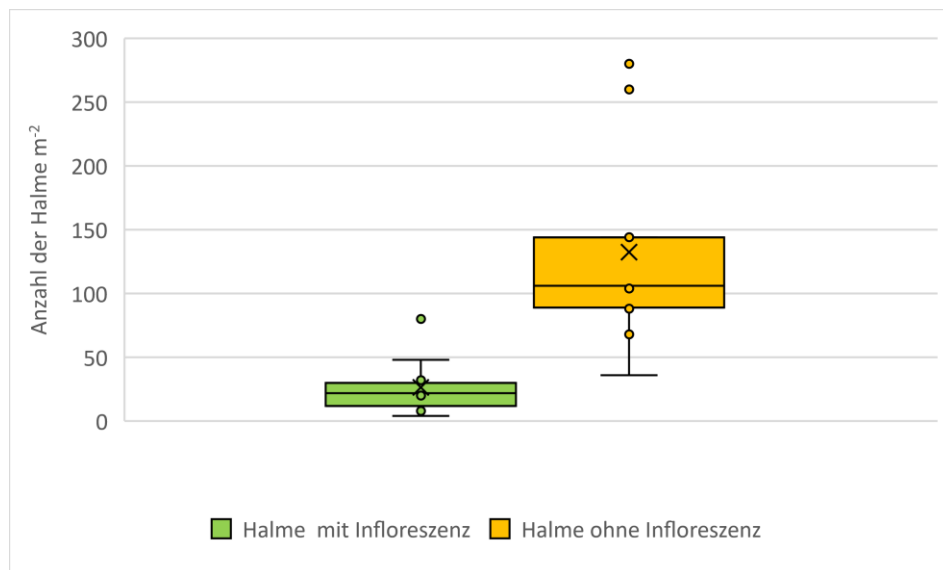


Abbildung 4: Box-Plots zur Anzahl der Halme pro m² von Halmen mit und ohne Infloreszenz aller POI. Halme mit Infloreszenz: Minimum = 4, Median = 22, Maximum = 80, Interquartilsabstand = 18, Mittelwert = 26; Halme ohne Infloreszenz: Minimum = 36, Median = 106, Maximum = 280, Interquartilsabstand = 55, Mittelwert = 132.

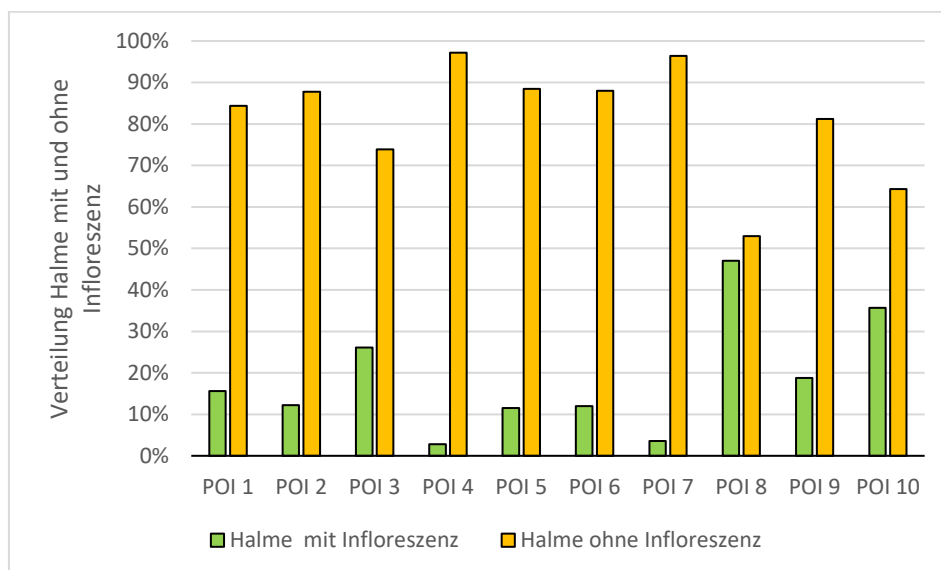


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung von Halmen mit und ohne Infloreszenz pro POI.

Am Untersuchungsstandort 3 wurden die durchschnittlich höchsten Halme mit einer durchschnittlichen Höhe von 198,7 cm gefunden. Die durchschnittlich niedrigsten Halme wurden am Untersuchungsstandort 2 mit einer durchschnittlichen Höhe von 95,1 cm gefunden. Durchschnittlich hatten Halme mit Infloreszenz eine signifikant ($t= 3,47$) größere Halmhöhe (181,6 cm, Abb. 6). Kein signifikanter Unterschied ($t= 2,06$) konnte hinsichtlich des basalen Halmdurchmessers zwischen Halmen mit und ohne Infloreszenz festgestellt werden. Der größte durchschnittliche basale Durchmesser wurde an Untersuchungsstandort 7 mit 0,83 cm gemessen, der kleinste durchschnittliche basale Durchmesser an Untersuchungsstandort 1 mit 0,64 cm (Abb. 7). Die höchste durchschnittliche Anzahl an Nodien wurde an Untersuchungsstandort 3 mit aufgerundet 16 Sprossknoten pro Halm gezählt. Die durchschnittlich niedrigste Anzahl an Nodien pro Halm wurde am Untersuchungsstandort 2 mit gerundet 11 gezählt (Tab. 2). Durchschnittlich hatten Halme mit Infloreszenz signifikant ($t= 6,42$) mehr Nodien (20) als Halme ohne Infloreszenz (13, Abb. 8).

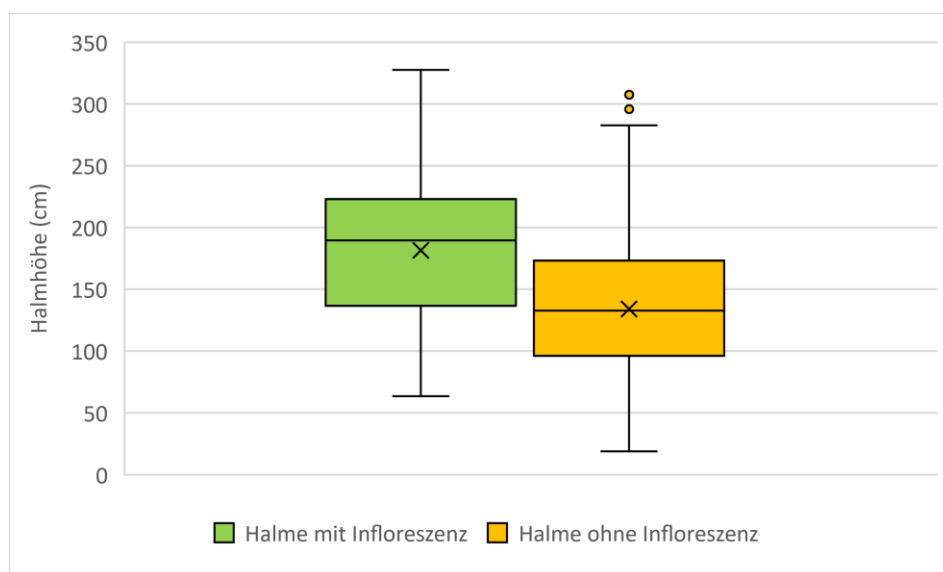


Abbildung 6: Box-Plots zu den Halmhöhen (cm) von Halmen mit und ohne Infloreszenz. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 63,4 Median= 189,6, Maximum= 327,6, Interquartilsabstand= 85,55, Mittelwert= 181,6; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 18,8, Median= 132,7, Maximum= 307,5, Interquartilsabstand= 77,15, Mittelwert= 134.

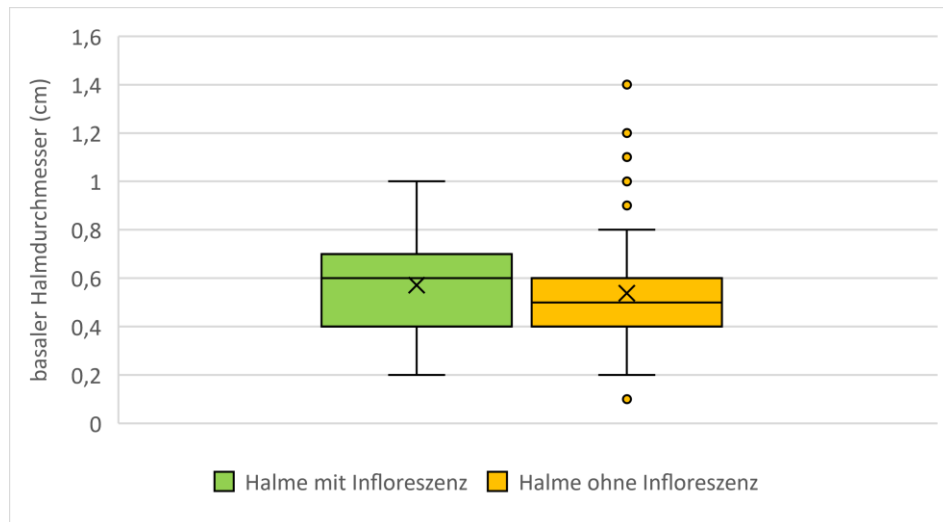


Abbildung 7: Box Plots zum basalen Halmdurchmesser (cm) von Halmen mit und ohne Infloreszenz. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 0.2, Median= 0.6, Maximum= 1, Interquartilsabstand= 0.3, Mittelwert= 0,57; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 0.1, Median= 0.4, Maximum= 1.4, Interquartilsabstand= 0,2, Mittelwert= 0,53.

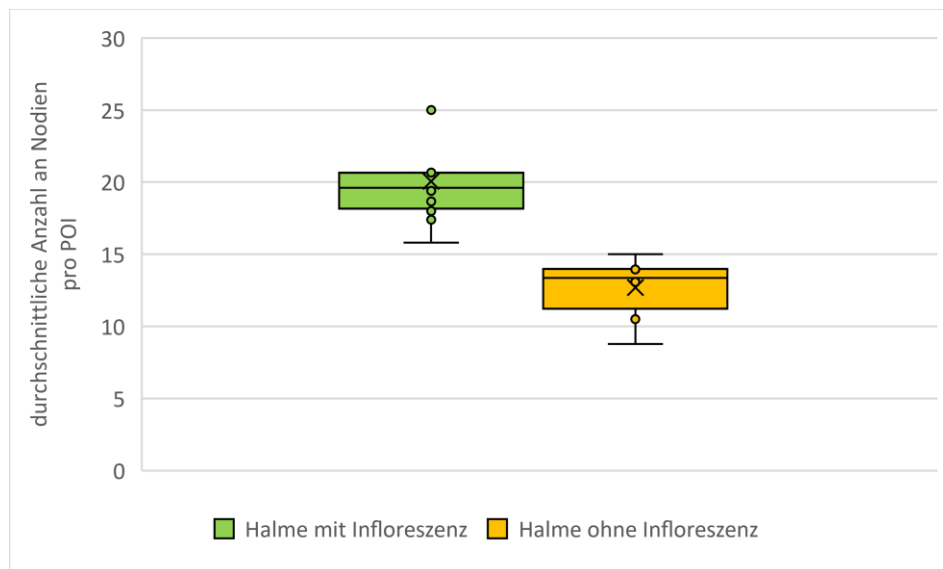


Abbildung 8: Vergleich der durchschnittliche Anzahl an Nodien pro POI zwischen Halmen mit und ohne Infloreszenz. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 16, Median= 20, Maximum= 25, Interquartilsabstand= 2,5, Mittelwert= 20; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 9, Median= 13, Maximum= 15, Interquartilsabstand= 2,8, Mittelwert= 13.

An allen Untersuchungsstandorten wurden durchschnittlich 447 Blätter von *P. australis* geerntet, wobei mehr Blätter an Halmen ohne Infloreszenz gezählt wurden (Abb. 9). Zudem wurden anzahlmäßig mehr Halme ohne Blätter als Halme mit Blättern vorgefunden: An Untersuchungsstandort 2 wurden ausschließlich Halme mit Blättern vorgefunden. An den Untersuchungsstandorten 1, 3, 4, 6, 9 und 10 wurden anzahlmäßig mehr Halme ohne Blätter als mit Blättern vorgefunden. An den Untersuchungsstandorten 7 und 8 wurden mehr Halme mit Blättern vorgefunden (Abb. 10). Halme mit größerer Höhe (326-350 cm) hatten weniger Blättern als Halme mit einer mittleren Höhe (151-175 cm, Abb. 11).

Kein signifikanter Unterschied ($t= 1,98$) konnte hinsichtlich der Anzahl an Blättern zwischen Halmen mit und ohne Infloreszenz festgestellt werden.

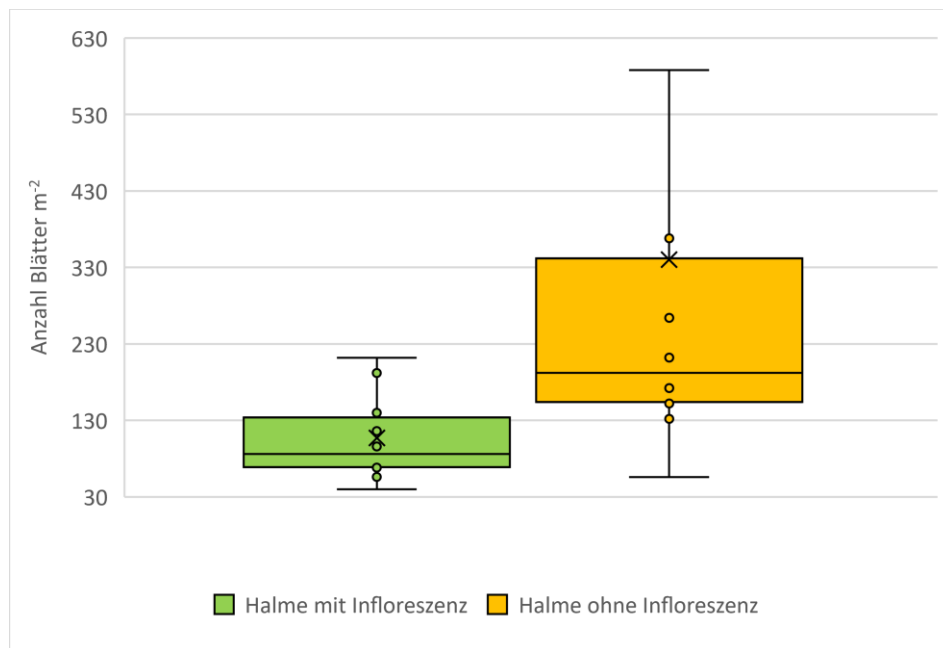


Abbildung 9: Box-Plots zur Anzahl der Blätter m^{-2} von Halmen mit und ohne Infloreszenz aller POI. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 40, Median= 86, Maximum= 212, Interquartilsabstand= 65, Mittelwert= 107; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 56, Median= 192, Maximum= 1296, Interquartilsabstand= 188, Mittelwert= 340.

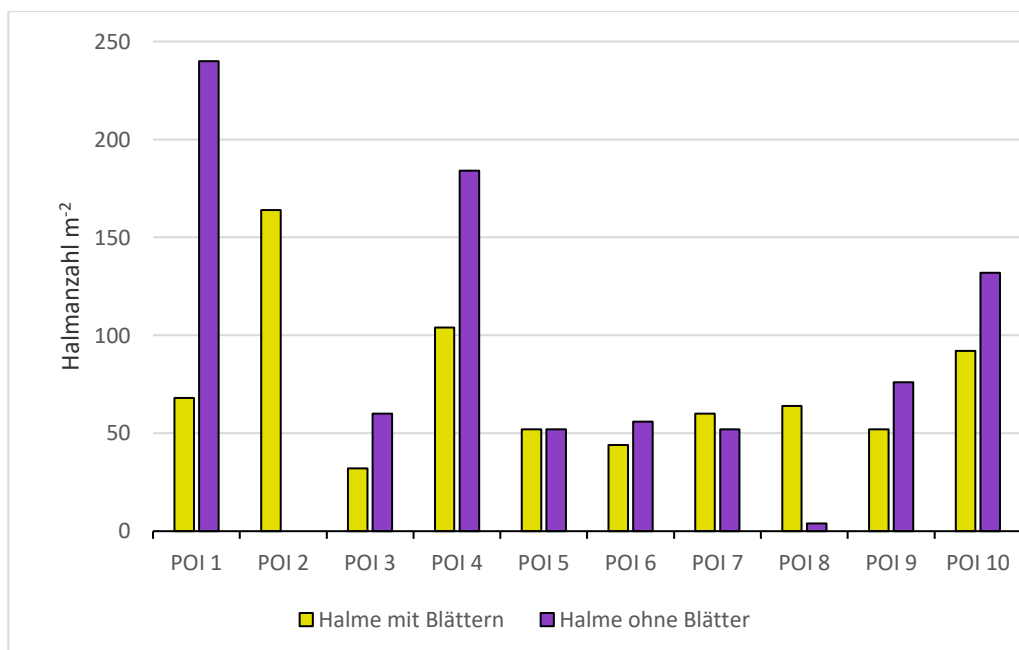


Abbildung 10: Vergleich Anzahl an Halmen mit und ohne Blättern m^{-2} pro POI.

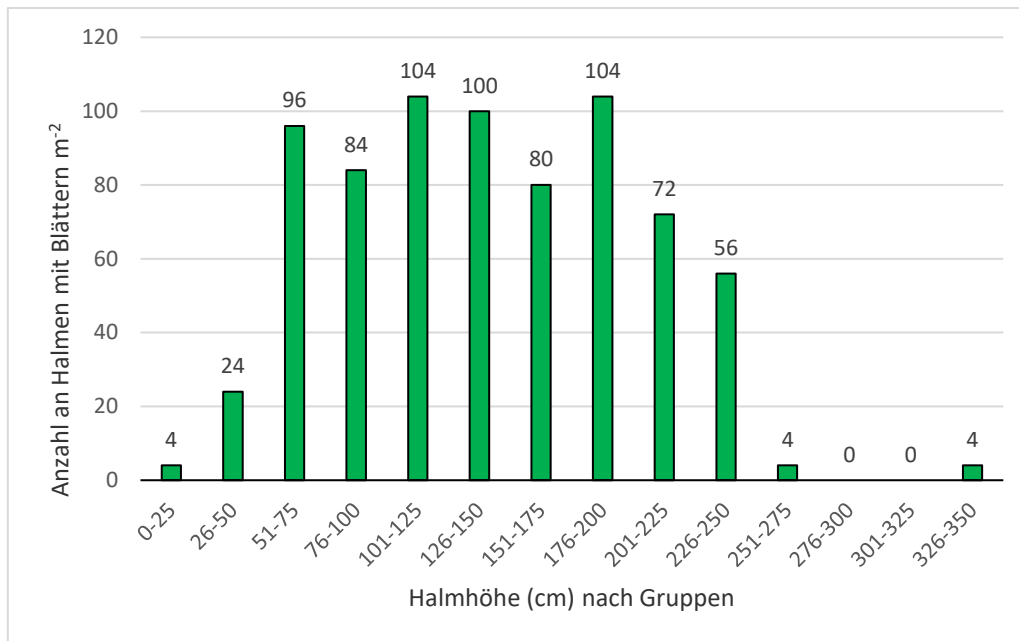


Abbildung 11: Anzahl an Halmen mit Blättern m⁻² nach Halmhöhengruppen.

Insgesamt wurde am Untersuchungsstandort 5 die meiste Biomasse (oberirdische- und unterirdische Biomasse) mit 11410,68 g m⁻² erhoben, wohingegen am Untersuchungsstandort 7 am wenigsten Biomasse mit 2548,6 g m⁻² erhoben wurde. Absolut betrachtet wurde am Untersuchungsstandort 6 die meiste unterirdische Biomasse mit 7486,48 g m⁻² vorgefunden, am wenigsten am Untersuchungsstandort 4 mit 1050,68 g m⁻². Die meiste oberirdische Biomasse wurde am Untersuchungsstandort 5 mit 4557,16 g m⁻², am wenigsten am Untersuchungsstandort 2 mit 966,96 g m⁻² erhoben (Tab. 2).

Das Verhältnis zwischen oberirdischer und unterirdischer Biomasse ist in Abbildung 12 dargestellt. Durchschnittlich wurde verhältnismäßig an allen POI 60% ± 33% unterirdische Biomasse und 40% ± 33% oberirdische Biomasse erhoben. Untersuchungsstandort 2 hatte verhältnismäßig die meiste unterirdische Biomasse (88%), wohingegen der Anteil an unterirdischer Biomasse am Untersuchungsstandort 4 mit 27% am geringsten war.

Die unterschiedlichen Gewichtsanteile der Gruppen der oberirdischen Biomasse und die der unterirdischen Biomasse sind in Abbildung 13 dargestellt. Verhältnismäßig wurde durchschnittlich an allen POI 5% ± 6% Halme mit Infloreszenz, 14% ± 27% Halme ohne Infloreszenz und 20% ± 18% Litter erhoben. Verhältnismäßig wurde die meiste Biomasse, bezogen auf die Gruppe Halme mit Infloreszenz, am Untersuchungsstandort 8 (10%) erhoben, die wenigste an den Untersuchungsstandorten 5 (2%), 6 (2%) und 7 (2%). Die Gruppe Halme ohne Infloreszenz hatte verhältnismäßig die meiste Biomasse am Untersuchungsstandort 4 (48%), wohingegen am Untersuchungsstandort 8 die wenigste Biomasse (3%) erhoben wurde. Die Gruppe Litter hatte verhältnismäßig am Untersuchungsstandort 8 die meiste (32%), am Untersuchungsstandort 2 die wenigste Biomasse (3%).

Durchschnittlich wurden an allen Untersuchungsstandorten $322,2 \text{ g m}^{-2} \pm 309,4 \text{ g m}^{-2}$ Trockenmasse an Halmen mit Infloreszenz, $826,6 \text{ g m}^{-2} \pm 923,1 \text{ g m}^{-2}$ Trockenmasse Halme ohne Infloreszenz, $1497,1 \text{ g m}^{-2} \pm 1978,4 \text{ g m}^{-2}$ Trockenmasse Litter und $4658,9 \text{ g m}^{-2} \pm 4940,7 \text{ g m}^{-2}$ Trockenmasse unterirdische Biomasse erhoben. Absolut betrachtet wurde am Untersuchungsstandort 3 die meiste Biomasse ($561,6 \text{ g m}^{-2}$) an Halmen mit Infloreszenz erhoben, wobei am Untersuchungsstandort 7 am wenigsten ($55,28 \text{ g m}^{-2}$) erhoben wurde. Bezogen auf die Gruppe Halme ohne Infloreszenz wurde am Untersuchungsstandort 4 die meiste Biomasse mit $1846,96 \text{ g m}^{-2}$, am Untersuchungsstandort 8 die wenigste Biomasse mit $132,84 \text{ g m}^{-2}$ erhoben. Die meiste Biomasse der Gruppe Litter wurde am Untersuchungsstandort 5 erhoben ($3516,16 \text{ g m}^{-2}$), wohingegen die geringste Biomasse am Untersuchungsstandort 2 (227 g m^{-2}) erhoben wurde (Abb. 14).



Abbildung 12: Gewichtsverhältnis zwischen oberirdischer (grün) und unterirdischer (braun) Biomasse (Trockenmasse) pro POI in %.

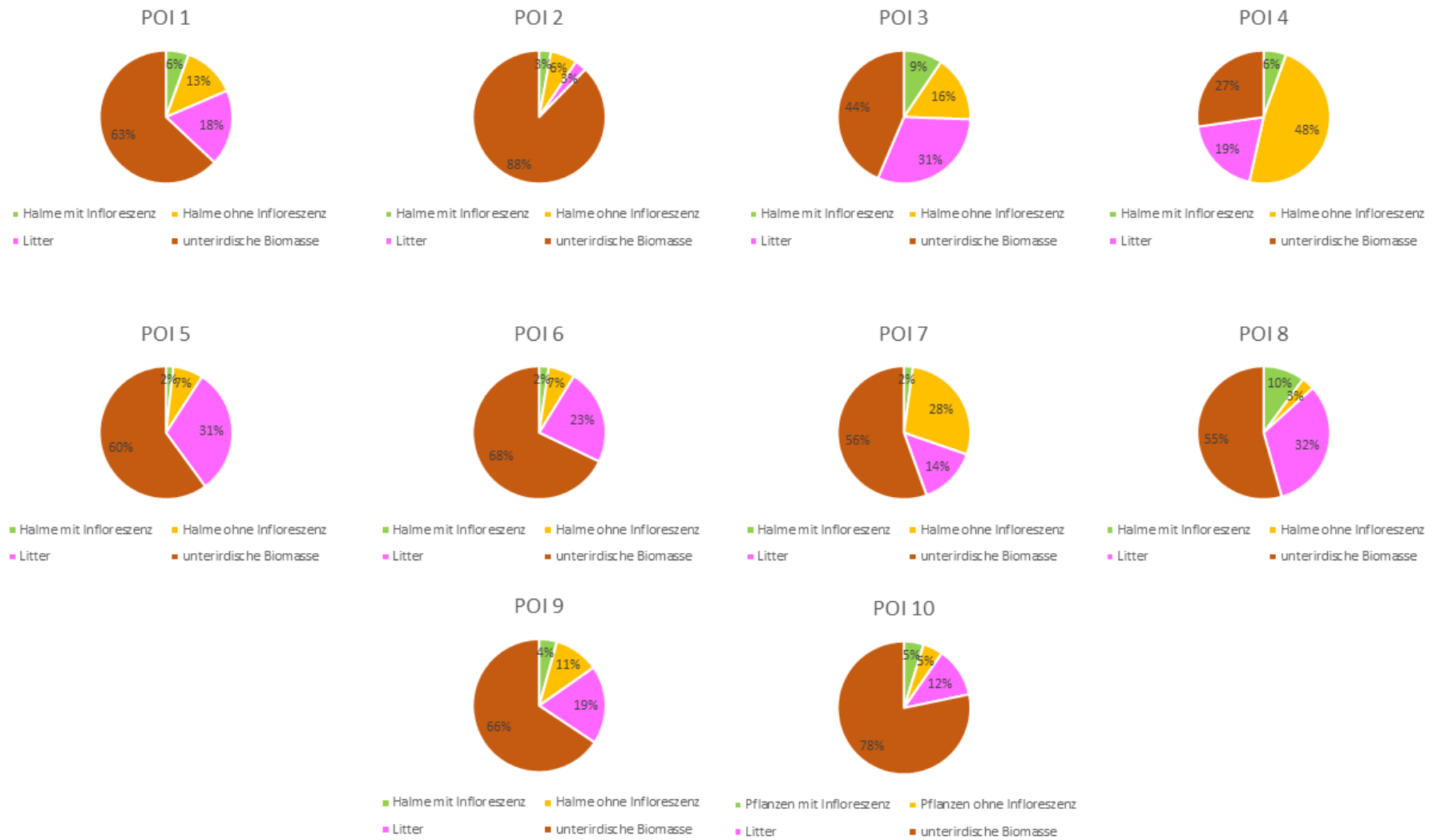


Abbildung 13: Gewichtsverhältnisse der Biomasse (Trockenmasse) aller POI in % zwischen den Gruppen: Halme mit Infloreszenz (grün), Halme ohne Infloreszenz (orange), Litter (pink) und unterirdische Biomasse (braun).

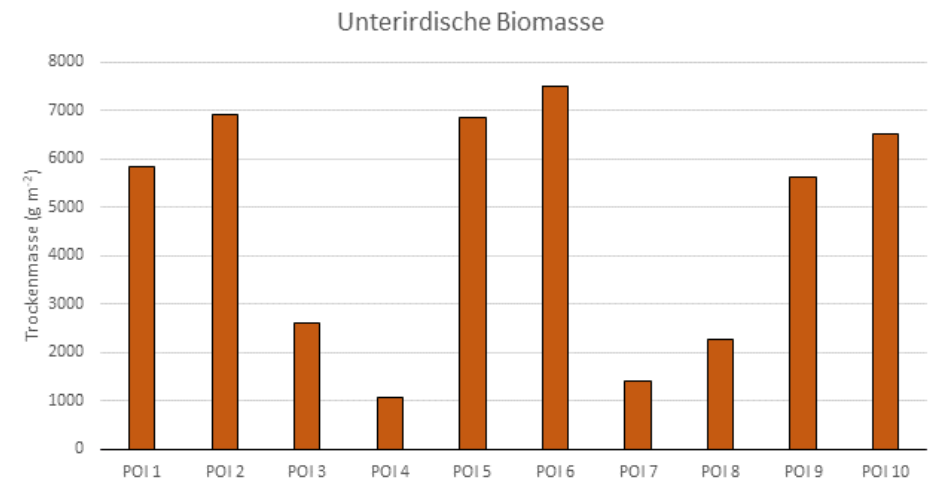
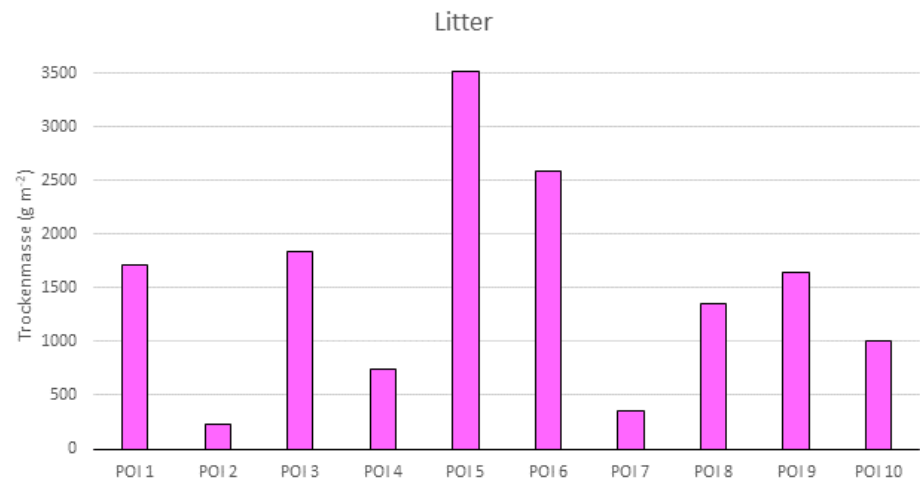
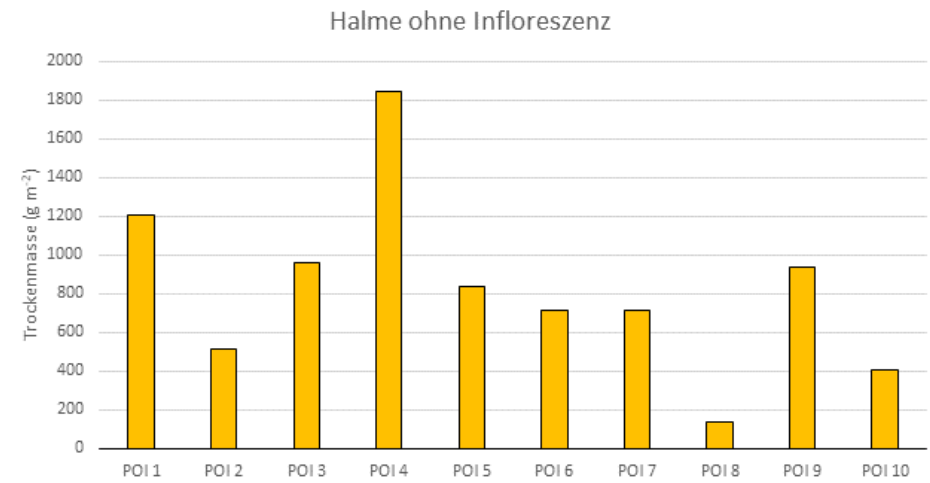
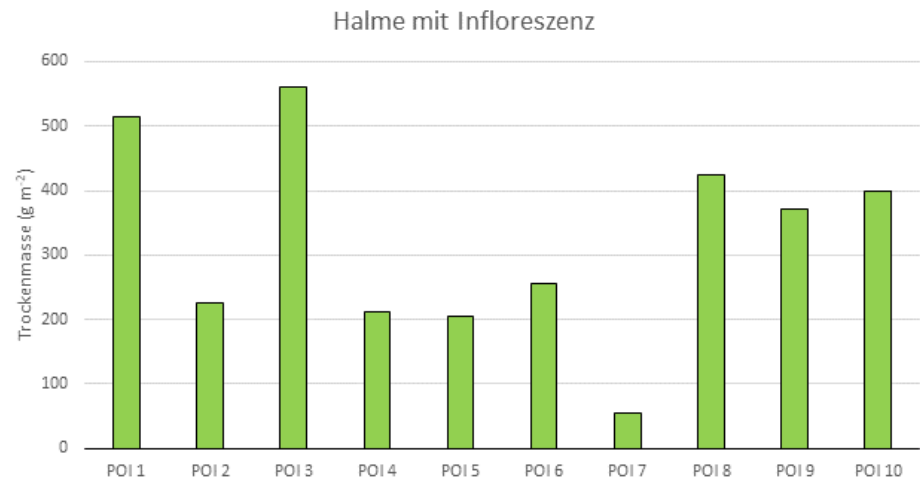


Abbildung 14: Verteilung der Trockenmasse (g m⁻²) zwischen den POI pro untersuchter Gruppe.

Die Ergebnisse zur Berechnung der Wasserspeicherung aus den Gruppen Halme mit Infloreszenz, Halme ohne Infloreszenz und Litter sind in Abbildung 15 dargestellt. Hier wurde auf die Umrechnung auf eine Untersuchungsfläche von 1 m² verzichtet. Die durchschnittlich größte Wasserspeicherung (51,07%) wurde in der Gruppe Litter nachgewiesen. Die durchschnittlich geringste Wasserspeicherung (33,81%) konnte bei der Gruppe Halme ohne Infloreszenz bestimmt werden.

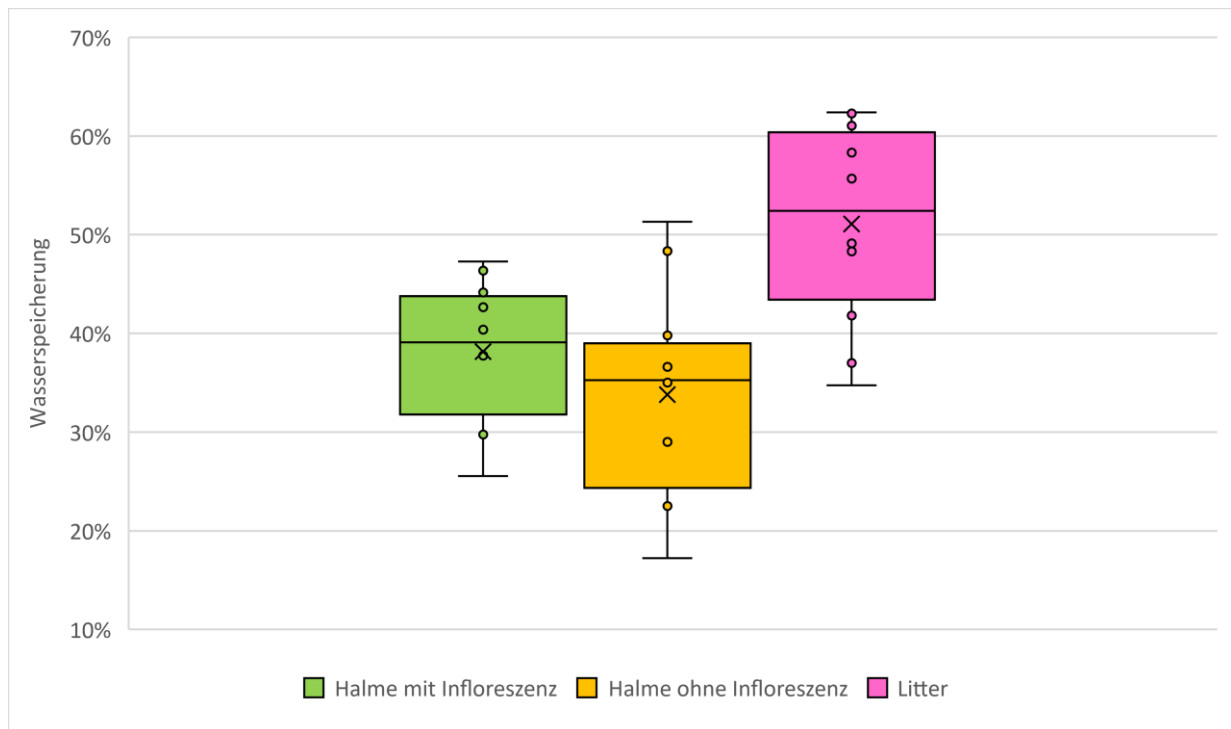


Abbildung 15: Wasserspeicherung in % der Gruppen Halme mit Infloreszenz, Halme ohne Infloreszenz und Litter aller POI. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 25,55, Median= 39,08, Maximum= 47,27, Interquartilsabstand= 12, Mittelwert= 38,15; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 17,24, Median= 35,26, Maximum= 51,32, Interquartilsabstand= 14,67, Mittelwert= 33,81; Litter: Minimum= 34,74, Median= 52,41, Maximum= 62,38, Interquartilsabstand= 16,94, Mittelwert= 51,07.

4.2 Blattflächenindices

Untersuchungsstandort 2 wies die größte Blattfläche von *P. australis* auf ($19851,52 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$), wohingegen am Untersuchungsstandort 1 die kleinste Blattfläche ($3283,27 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$) berechnet wurde (Abb. 16).

Die Ergebnisse des LAI des „LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer“ und der manuellen Berechnung ist in Abbildung 17 dargestellt. Ein signifikanter Unterschied ($t= 3,5$) konnte zwischen dem berechneten LAI und dem gemessenen LAI festgestellt werden. Den niedrigsten manuell berechneten LAI weist Untersuchungsstandort 1 mit 0,33 auf, wobei den höchsten Wert an Untersuchungsstandort 2 mit 1,98 nachgewiesen werden konnte. Die Ergebnisse des „LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer“ zeigen, dass der niedrigste Blattflächenindex mit 1,03 am Untersuchungsstandort 9, der Höchste mit 3,29 am Untersuchungsstandort 4 gemessen wurde. Der höchsten Wert des spezifischen Blattflächenindex wurde am Untersuchungsstandort 4 mit $162,03 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ berechnet. Der niedrigste Wert wurde am Untersuchungsstandort 1 mit $92,02 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ berechnet (Abb. 18).

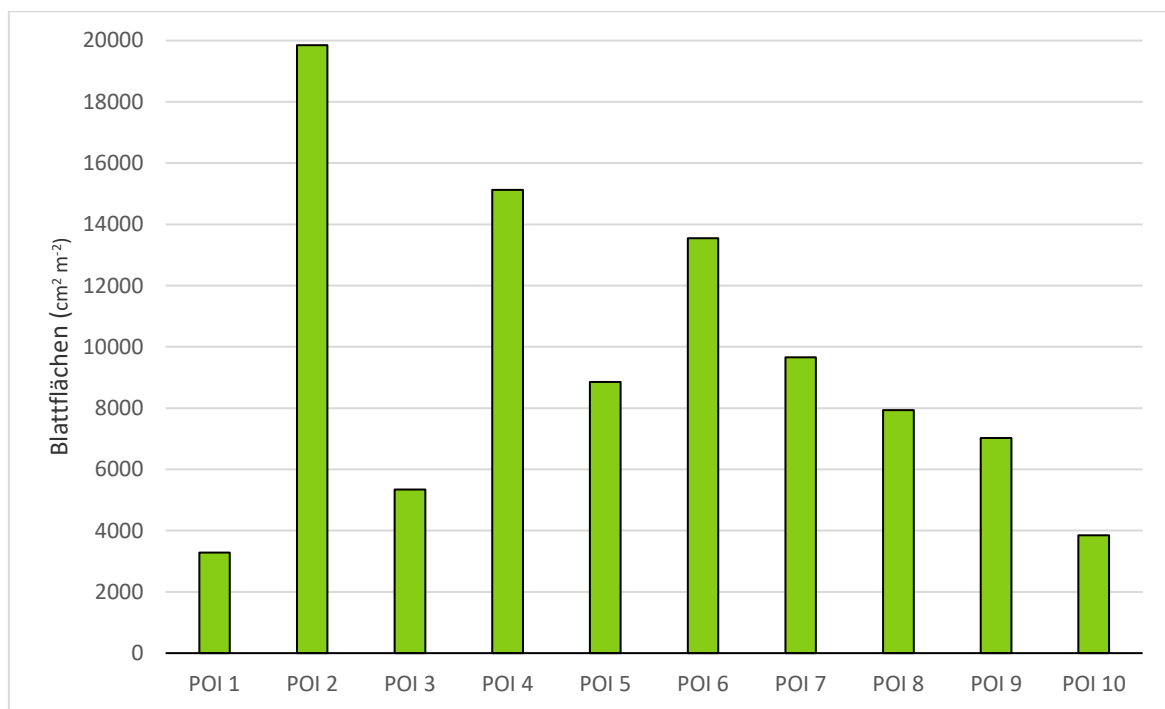


Abbildung 16: Vergleich der Größe der berechneten Blattflächen ($\text{cm}^2 \text{ m}^{-2}$) pro POI.

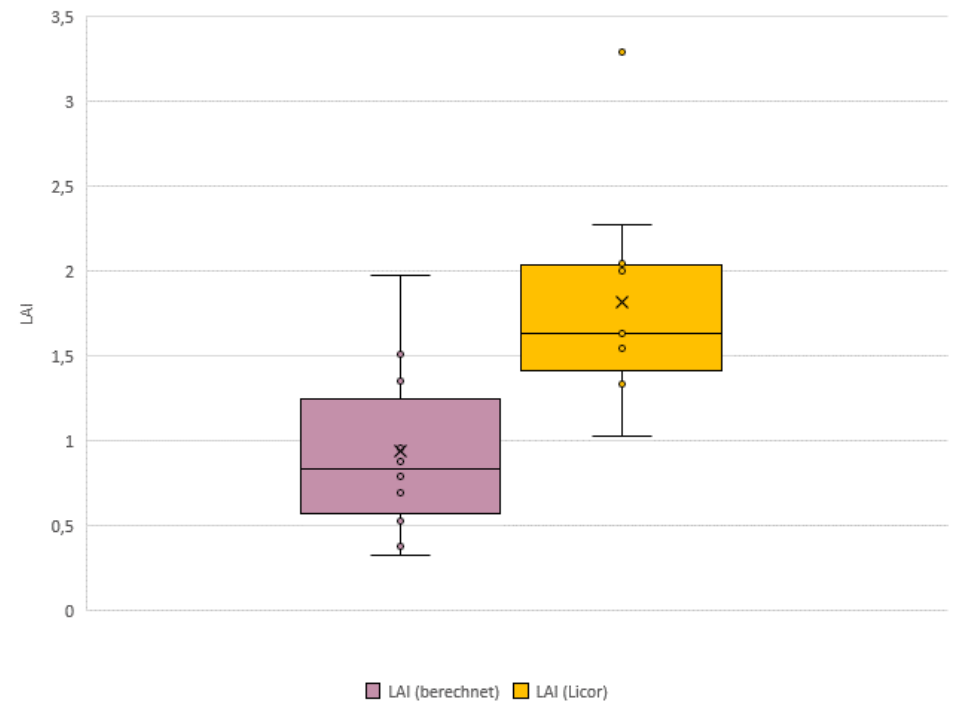
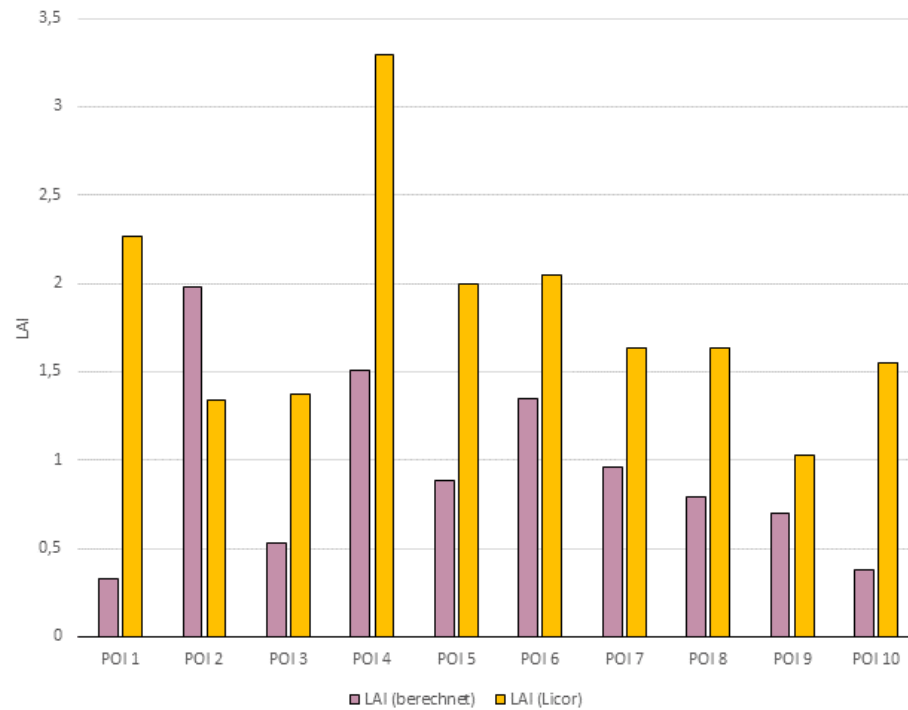


Abbildung 17: Links: Vergleich zwischen den Werten des berechneten LAI und den Werten des „Licor“ pro POI. Rechts: Box-Plots des berechneten LAI und dem gemessenen LAI („Licor“). LAI berechnet: Minimum= 0,33, Median= 0,84, Maximum= 1,98, Interquartilsabstand= 0,68, Mittelwert= 0,94; LAI („Licor“): Minimum= 1,03, Median= 1,63, Maximum= 3,28, Interquartilsabstand= 0,62, Mittelwert= 1,82.

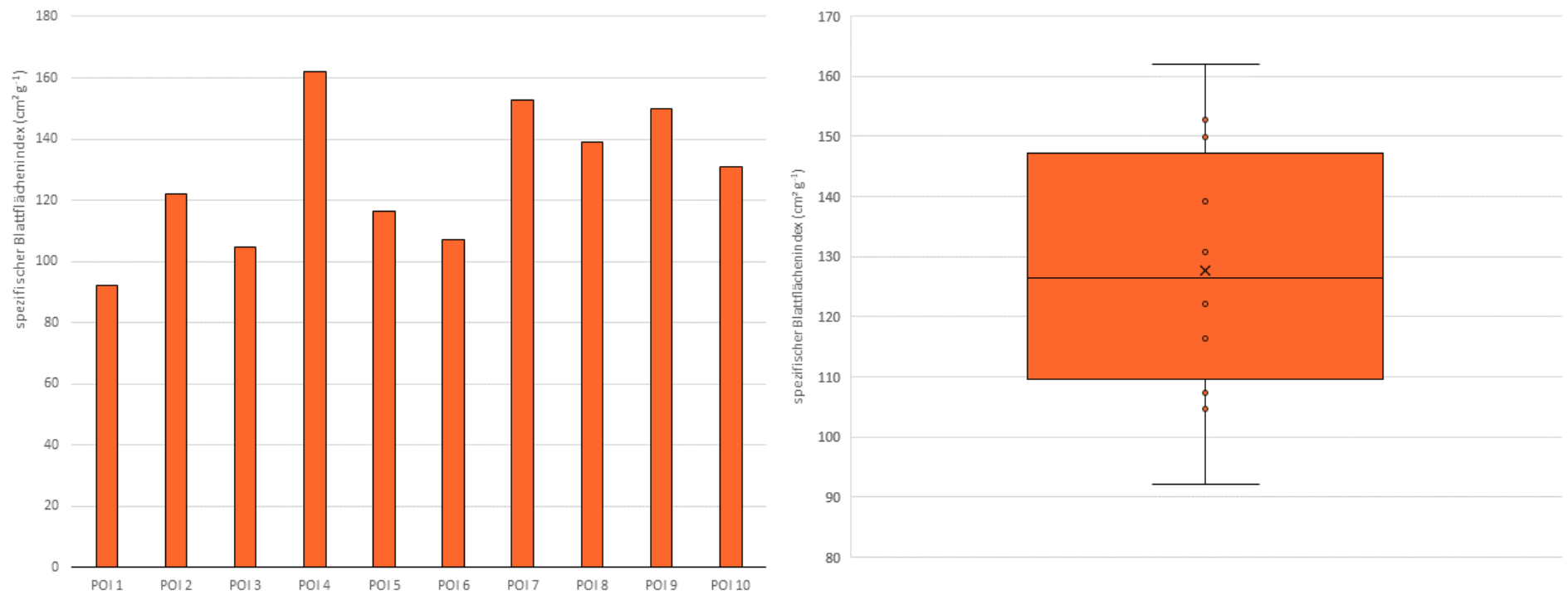


Abbildung 18: Links: Höhe des spezifischen Blattflächenindex pro POI. Rechts: Box-Plot zu den Werten des spezifischen Blattflächenindex: Minimum= 92,02, Median= 126,4, Maximum= 162,03, Interquartilsabstand= 37,66, Mittelwert= 127,68.

4.4 Gehalt und Speicherung an organischem Kohlenstoff

Absolut betrachtet hatte die Gruppe unterirdische Biomasse durchschnittlich den höchsten Anteil an organischem Kohlenstoff ($2303,57 \text{ gC m}^{-2}$), gefolgt von der Gruppe Litter ($804,80 \text{ gC m}^{-2}$) und Halme ohne Infloreszenz ($449,04 \text{ gC m}^{-2}$). Den niedrigsten Anteil an organischem Kohlenstoff konnte bei der Gruppe Halme mit Infloreszenz erhoben werden ($174,52 \text{ gC m}^{-2}$, Abb. 19).

Die relative Speicherung des organischen Kohlenstoffs ist in Abbildung 20 dargestellt und zeigt, dass in der Gruppe Halme mit Infloreszenz durchschnittlich der höchste Anteil an organischem Kohlenstoff enthalten war ($54,67 \text{ g g}^{-1}$), gefolgt von Halmen ohne Infloreszenz ($54,45 \text{ g g}^{-1}$) und Litter ($52,25 \text{ g g}^{-1}$), wobei der durchschnittlich geringste Anteil an organischem Kohlenstoff in der Gruppe unterirdische Biomasse bestimmt wurde ($48,97 \text{ g g}^{-1}$).

Eine Gegenüberstellung des absoluten und relativen Gehalts an organischen Kohlenstoff zeigte, dass es deutliche Unterschiede gibt. Die Kategorie „unterirdische Biomasse“ hat beispielsweise beim absoluten Gehalt an organischen Kohlenstoff den höchsten Wert (3759 gC m^{-2}), während sie bei Betrachtung des relativen Gehalts an organischen Kohlenstoff den geringsten Wert ($41,24 \text{ g g}^{-1}$) aufwies (Abb. 19 & 20). Den höchsten Wert der relativen Speicherung des organischen Kohlenstoffs hatte die Kategorie „Halme ohne Infloreszenz“ mit $58,59 \text{ gg}^{-1}$, welche bei Betrachtung der absoluten Speicherung des organischen Kohlenstoffs den zweitniedrigsten Wert ($70,8 \text{ gC m}^{-2}$) aufwies.

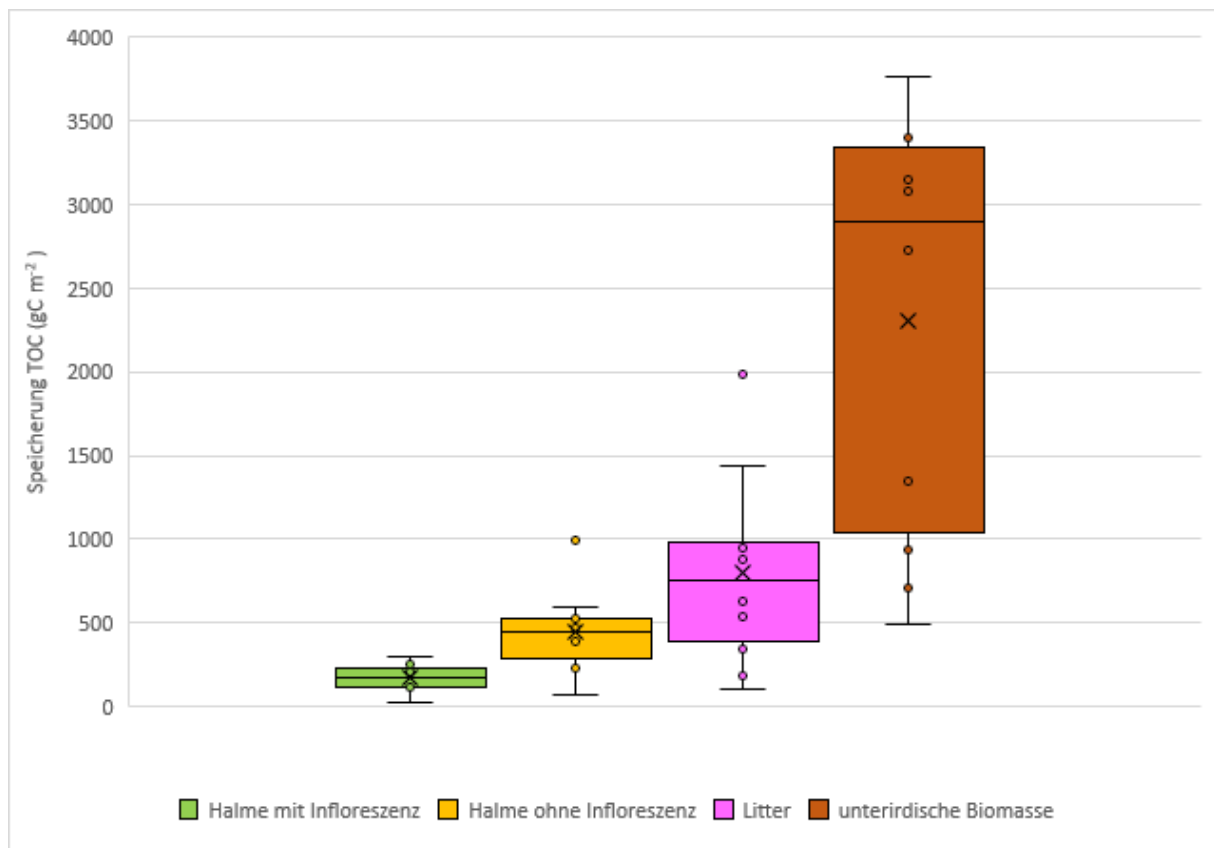


Abbildung 19: Absolute Speicherung des organischen Kohlenstoffs (TOC) in gC m⁻². Halme mit Infloreszenz: Minimum= 30,50; Median= 174,82, Maximum= 299,51, Interquartilsabstand= 114,77, Mittelwert= 174,52; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 70,80, Median= 444,15, Maximum= 996,69, Interquartilsabstand= 243,56, Mittelwert= 449,04; Litter: Minimum= 110,33, Median= 752,83, Maximum= 1981, Interquartilsabstand= 590,47, Mittelwert= 804,80; unterirdische Biomasse: Minimum= 496,35, Median= 2901,86, Maximum= 3758,81, Interquartilsabstand= 2296,67, Mittelwert= 2303,57.

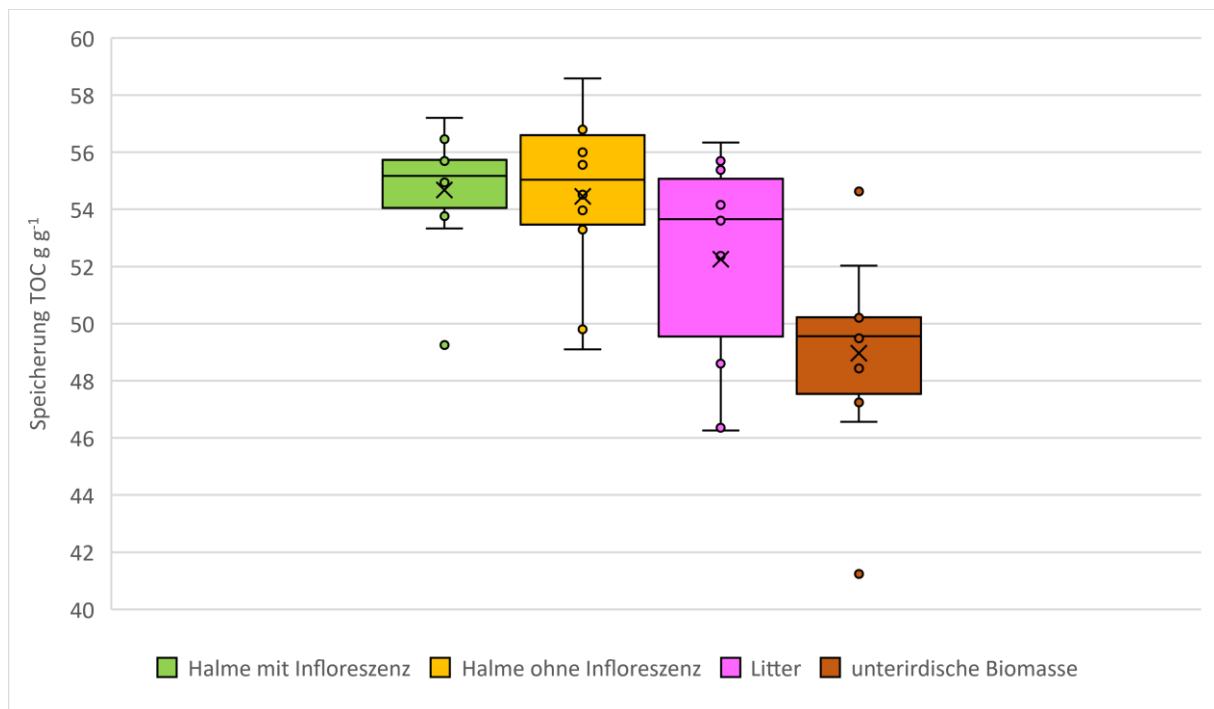


Abbildung 20: Relative Speicherung des organischen Kohlenstoffs (TOC) in gC g^{-1} Trockenmasse. Halme mit Infloreszenz: Minimum= 49,25, Median= 55,17, Maximum= 57,21, Interquartilsabstand= 1,67, Mittelwert= 54,67; Halme ohne Infloreszenz: Minimum= 49,10, Median= 55,04, Maximum= 58,59, Interquartilsabstand= 3,13, Mittelwert= 54,45; Litter: Minimum= 46,26, Median= 53,66, Maximum= 56,34, Interquartilsabstand= 5,53, Mittelwert= 52,25; unterirdische Biomasse: Minimum= 41,24, Median= 49,56, Maximum= 54,63, Interquartilsabstand= 2,68, Mittelwert= 48,97.

4.5 Beziehungen zwischen unterschiedlichen Parametern

4.5.1 Zusammenhang zwischen Halmhöhe beziehungsweise Halmdurchmesser und Masse der Halme

Die Masse der Halme nahm mit größerer Halmhöhe signifikant ($p < 0,01$) zu (Abb. 21). Die Variable a hat den Wert 0,0044, der Exponent b den Wert 1,5096. Kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0,05$) konnte zwischen der Masse der Halme und dem Halmdurchmesser festgestellt werden (Abb. 22). Die Variable a hat den Wert 15, 725 und der Exponent b 1,2653.

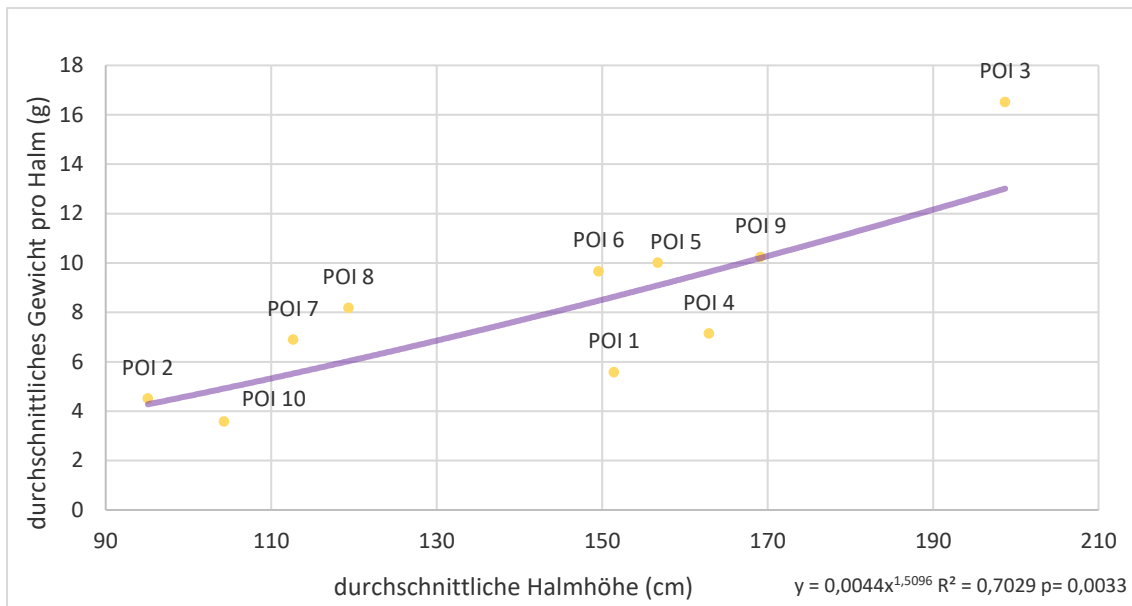


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Gewicht pro Halm (g) und der durchschnittlichen Halmhöhe (cm). Linie= Trendlinie (Potenz), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,7029, p (Signifikanz)= 0,0033, Variable $a= 0,0044$, Exponent $b= 1,5096$.

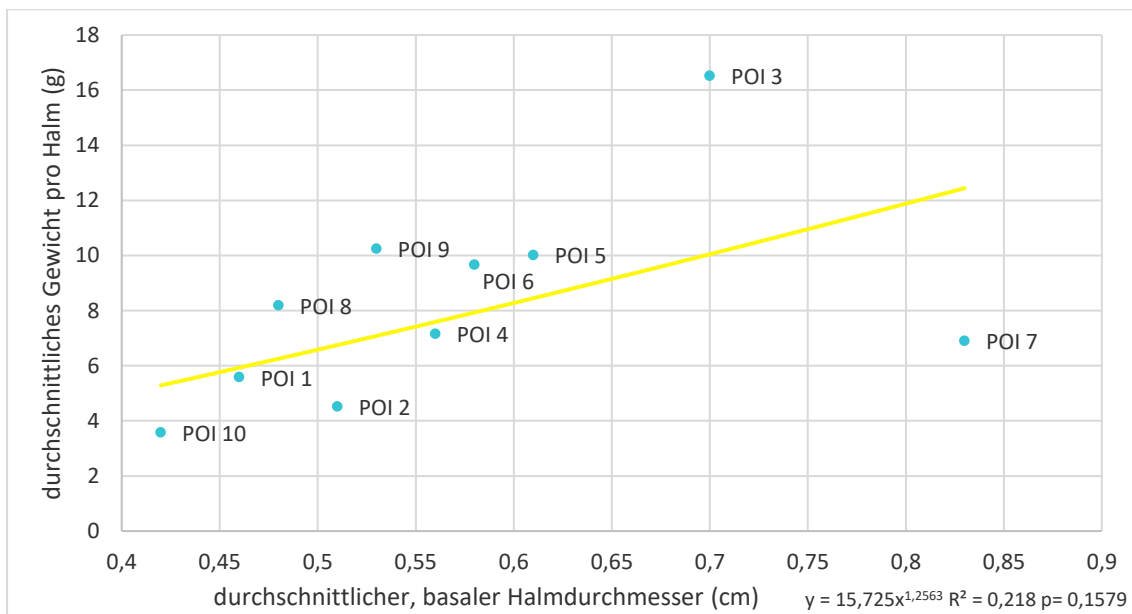


Abbildung 22: Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Gewicht pro Halm (g) und dem durchschnittlichen, basalen Halmdurchmesser (cm) pro POI. Linie= Trendlinie (Potenz), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,218, p (Signifikanz)= 0,1579, Variable $a= 15,725$, Exponent $b= 1,2563$.

4.5.2 Zusammenhang zwischen TOC und Halmhöhe beziehungsweise Halmdurchmesser

Weder zwischen TOC und Halmhöhe ($p > 0,05$, Abb. 23) noch zwischen TOC und Halmdurchmesser ($p > 0,05$, Abb. 24) konnte ein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden.

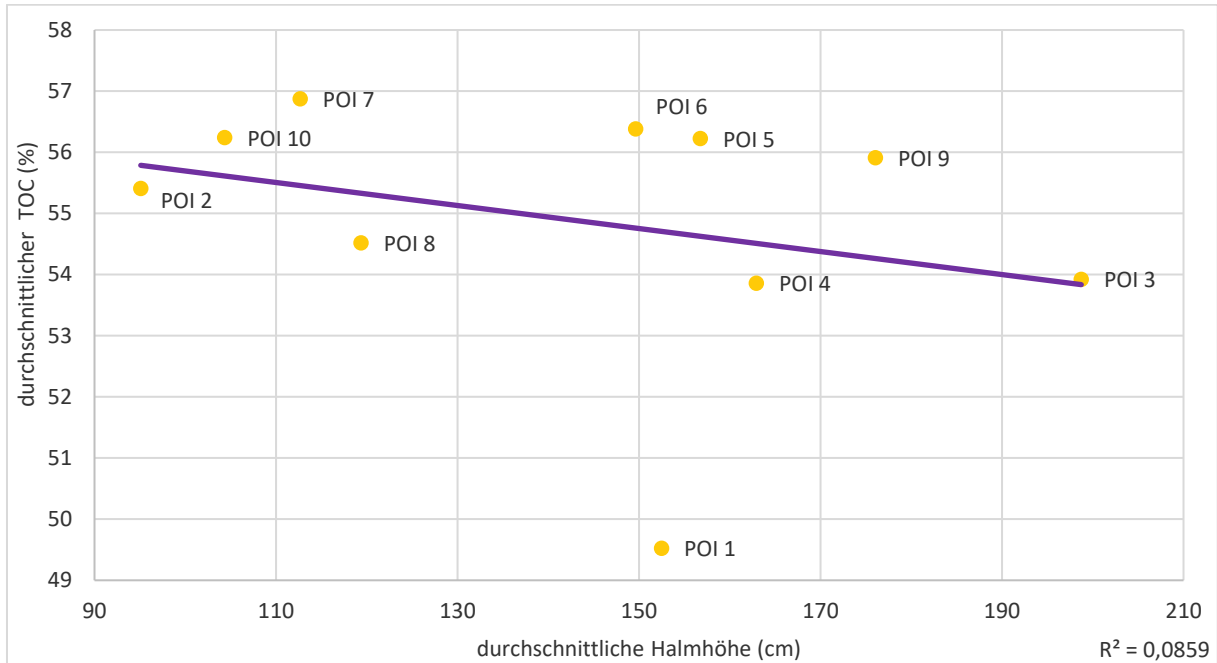


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen TOC (%) der Halme mit und ohne Infloreszenz und der durchschnittlichen Halmhöhe pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0859, p (Signifikanz)= 0,4113.

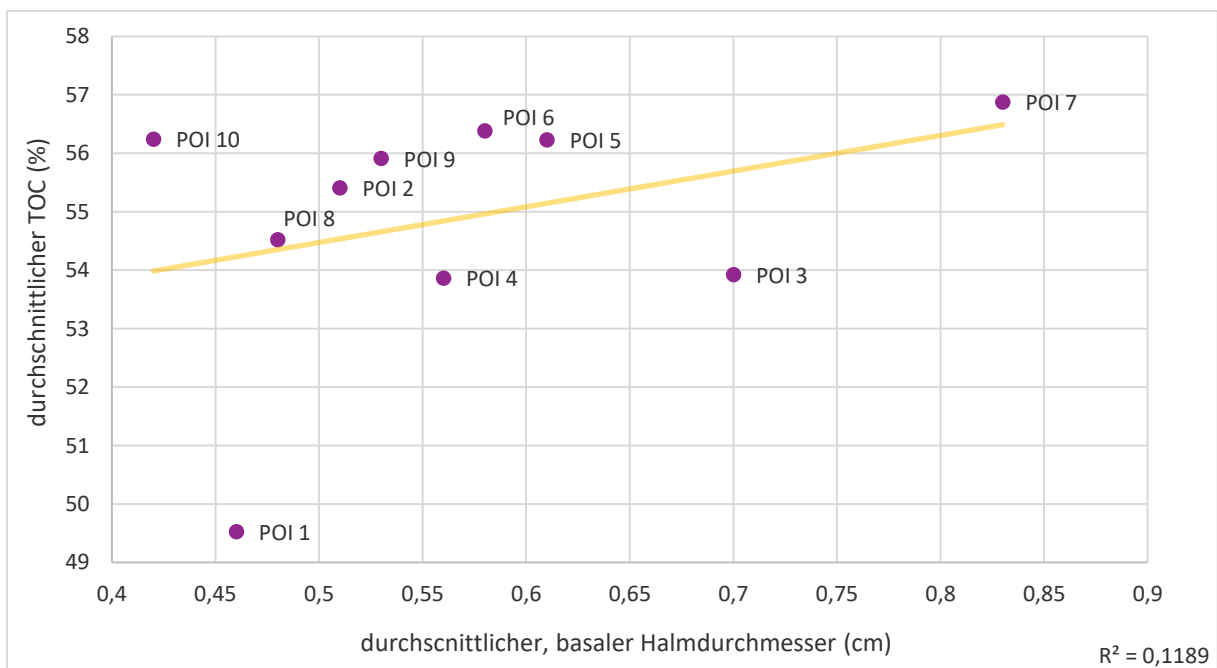


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen durchschnittlichem TOC (%) der Halmen mit und ohne Infloreszenz und dem durchschnittlichen, basalen Halmdurchmesser (cm) pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,1189, p (Signifikanz)= 0,3292.

4.5.3 Zusammenhang zwischen LAI und Halmhöhe beziehungsweise Halmdurchmesser

Kein signifikanter Zusammenhang konnte weder zwischen dem berechneten LAI und Halmhöhe ($p > 0,05$, Abb. 25) noch zwischen LAI und Halmdurchmesser ($p > 0,05$, Abb. 26) festgestellt werden.

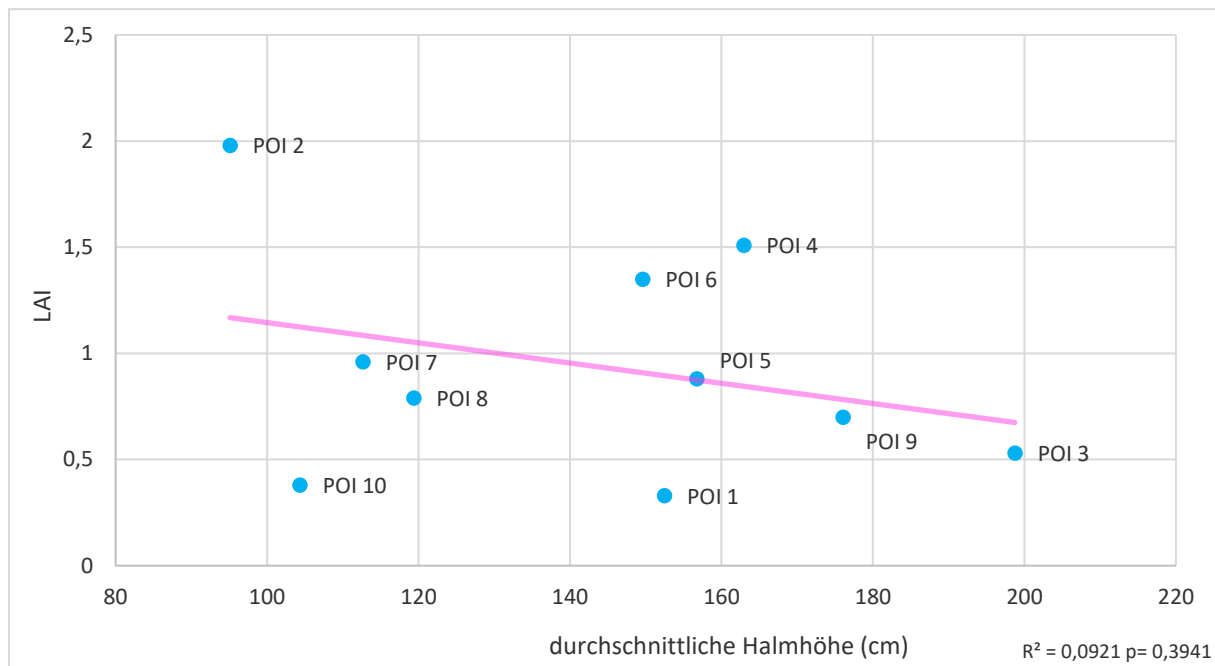


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen LAI und der durchschnittlichen Halmhöhe (cm) pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0921, p (Signifikanz)= 0,3941.

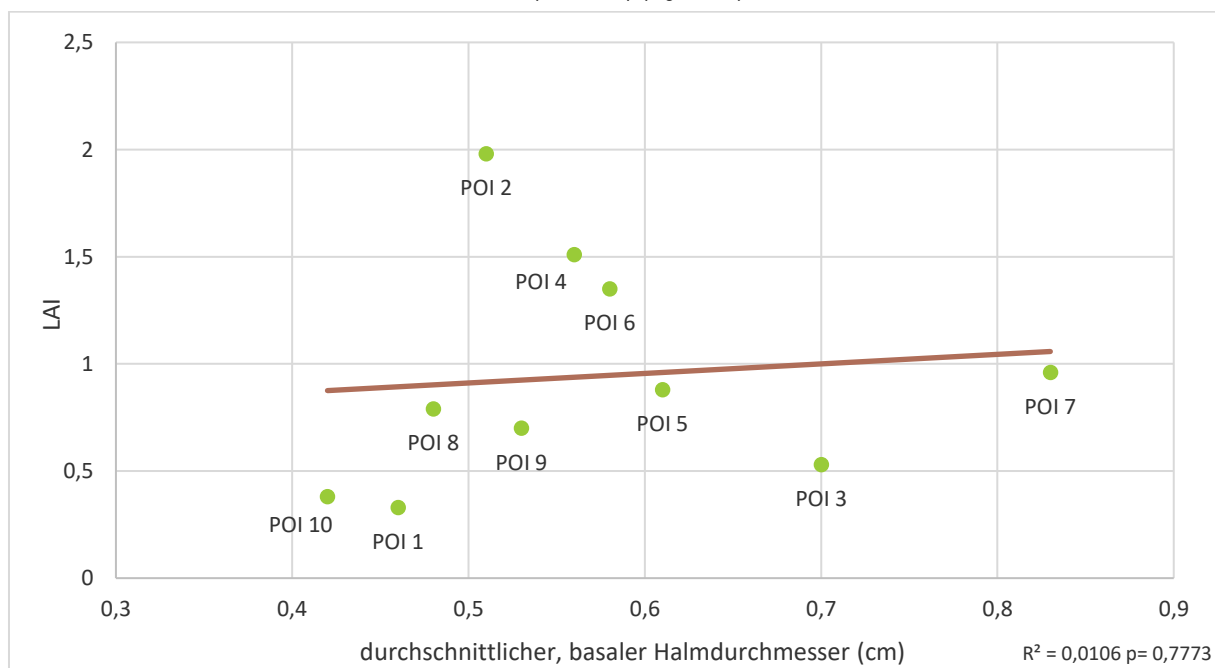


Abbildung 26: Zusammenhang zwischen LAI und durchschnittlichem, basalem Halmdurchmesser (cm) pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0106, p (Signifikanz)= 0,7773.

4.5.4 Weitere Zusammenhänge

Die Blattfläche stieg signifikant ($p < 0,05$) mit zunehmender Blattanzahl (Abb. 27). Kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0,05$) konnte zwischen Halmhöhe und Blattanzahl festgestellt werden (Abb. 28). Darüber hinaus konnte kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0,05$) zwischen den LAI-Werten des LICOR und den selbst berechneten Werten festgestellt werden (Abb. 29). Kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0,05$) konnte zwischen dem spezifischen Blattflächenindex und dem LAI festgestellt werden (Abb. 30). Ein signifikanter Zusammenhang ($p < 0,001$) konnte zwischen Halmhöhe und Anzahl der Nodien festgestellt werden (Abb. 31). Außerdem konnte eine signifikante Korrelation ($p < 0,001$) zwischen Halmhöhe und basalem Halmdurchmesser festgestellt werden (Abb. 32).

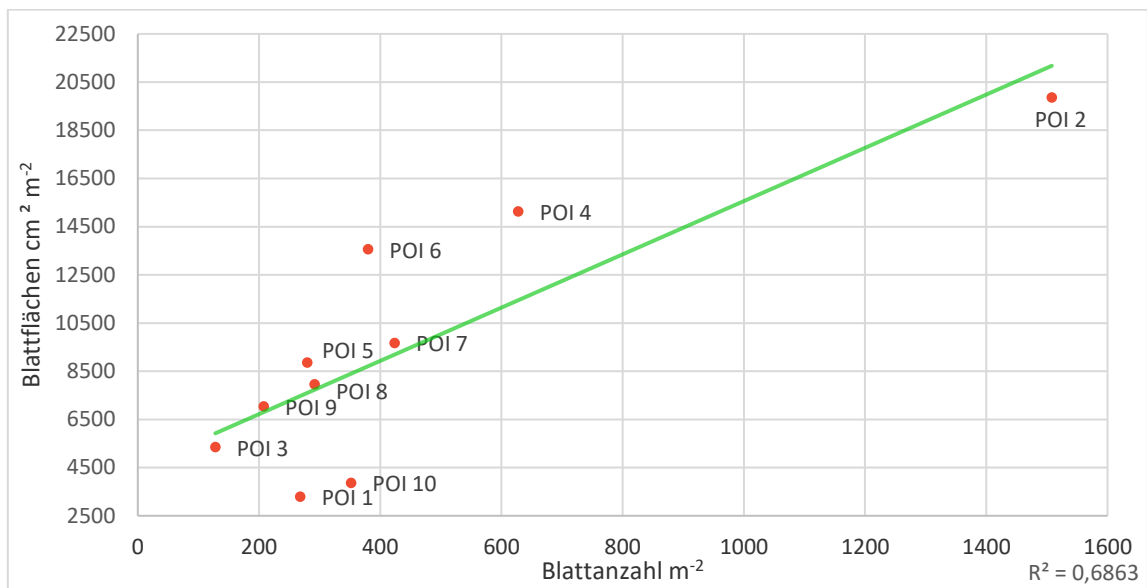


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen den Blattflächen (cm² m⁻²) und der Blattanzahl pro m² pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,6863, p (Signifikanz)= 0,003.

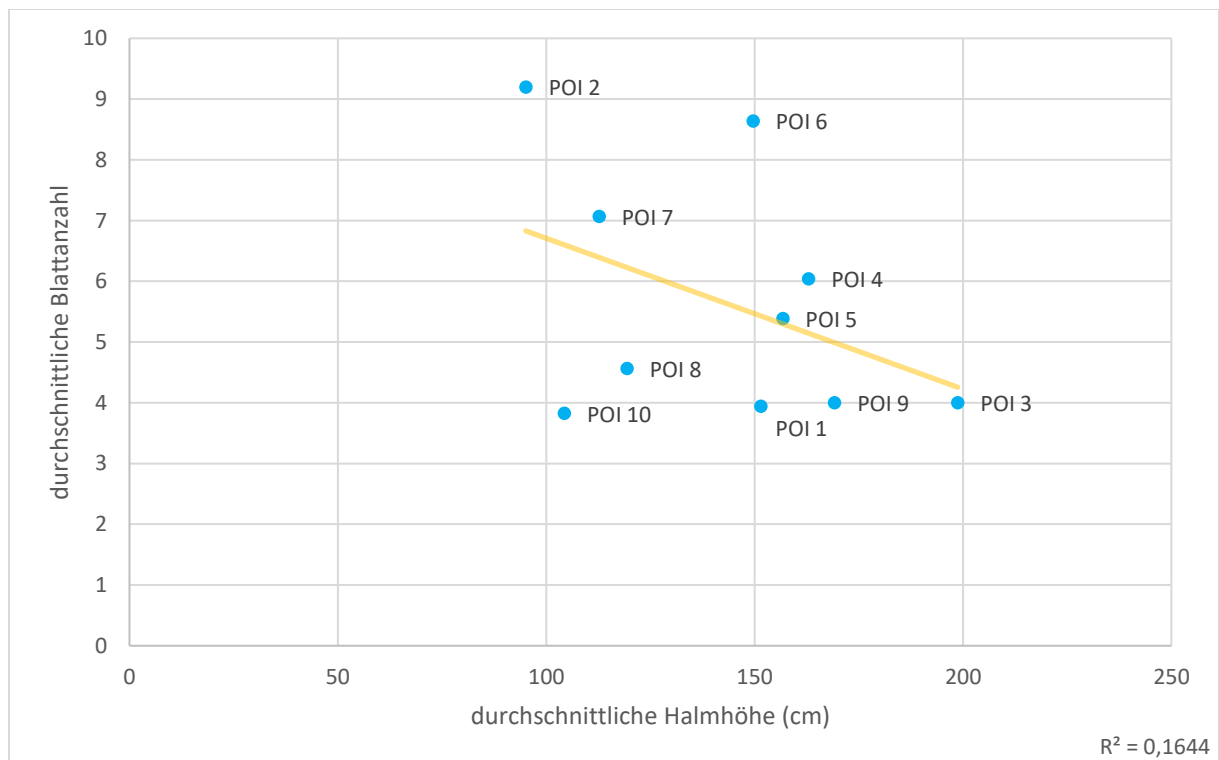


Abbildung 28: Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Halmhöhe (cm) und der durchschnittlichen Blattanzahl pro POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,1644, p (Signifikanz)= 0,2451.

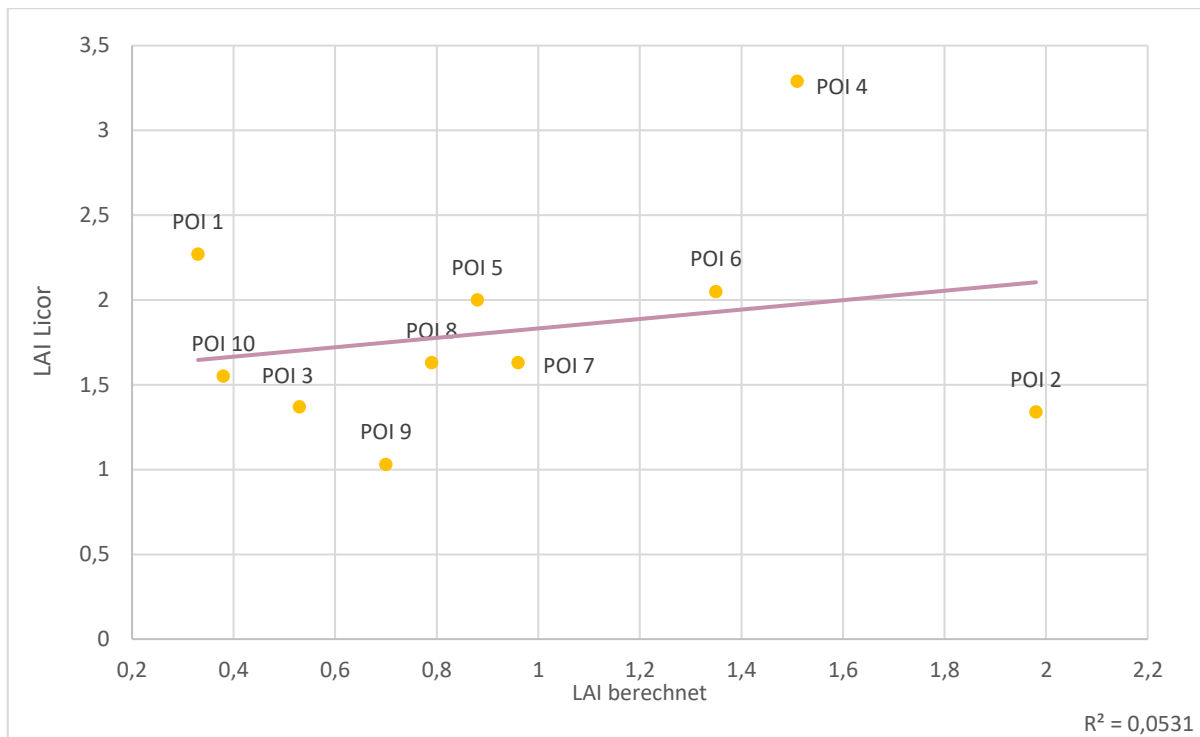


Abbildung 29: Zusammenhang zwischen den LAI-Werten des LICOR und den selbst berechneten Werten aller POI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0531, p (Signifikanz)= 0,5215.

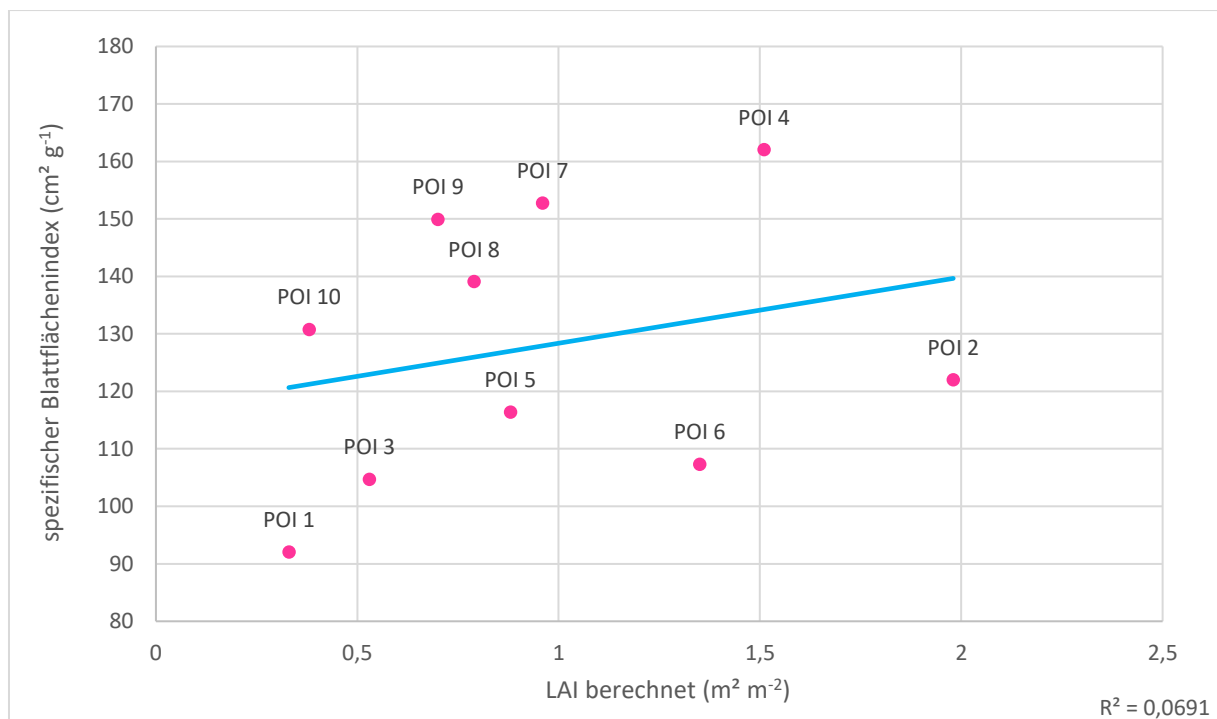


Abbildung 30: Zusammenhang zwischen dem spezifischen Blattflächenindex und dem berechneten LAI. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= POI, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,0691, p (Signifikanz)= 0,4630.

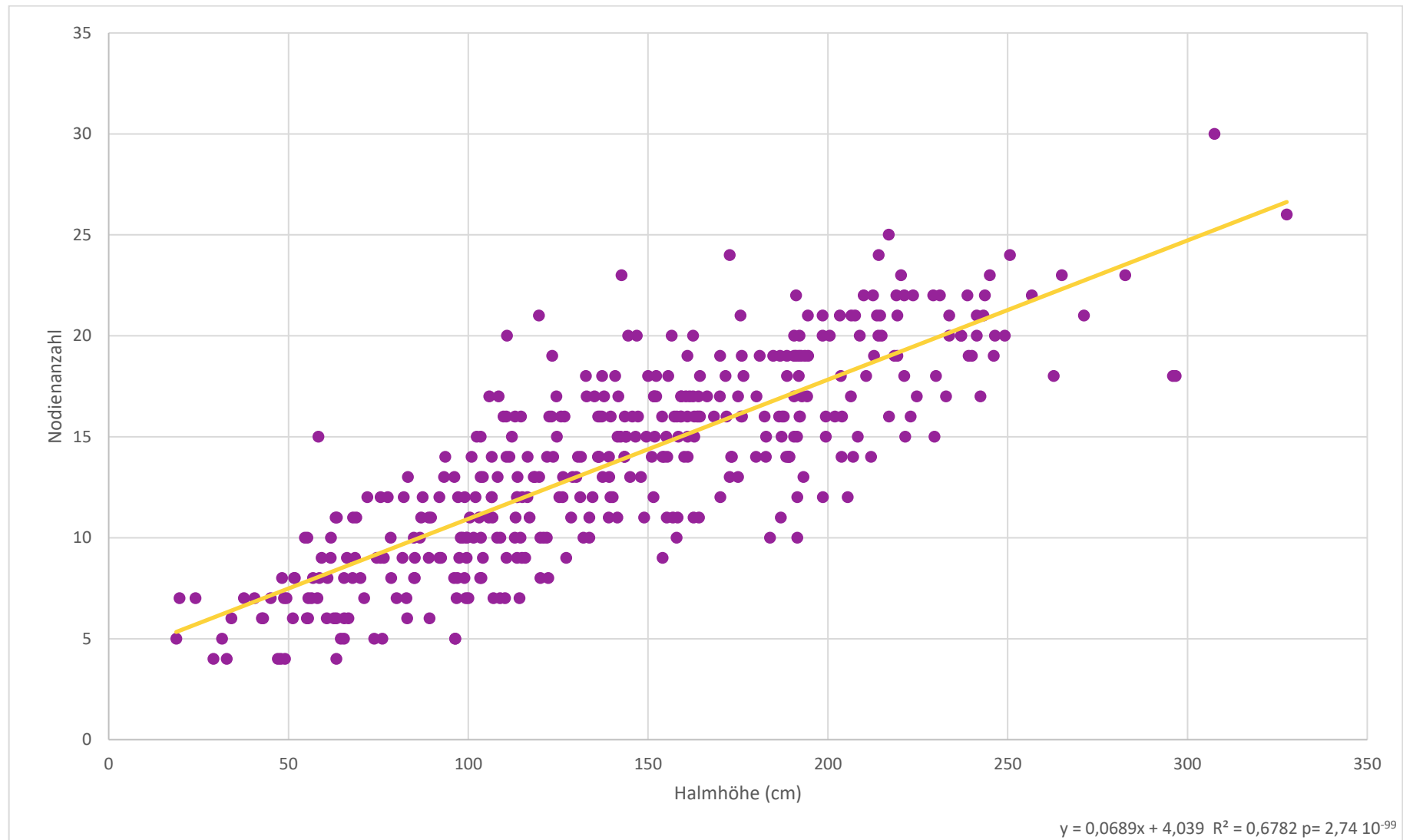


Abbildung 31: Zusammenhang zwischen Nodienanzahl und Halmhöhe (cm) pro Halm. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= Halme, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,6782, p (Signifikanz)= $2,74 \cdot 10^{-99}$.

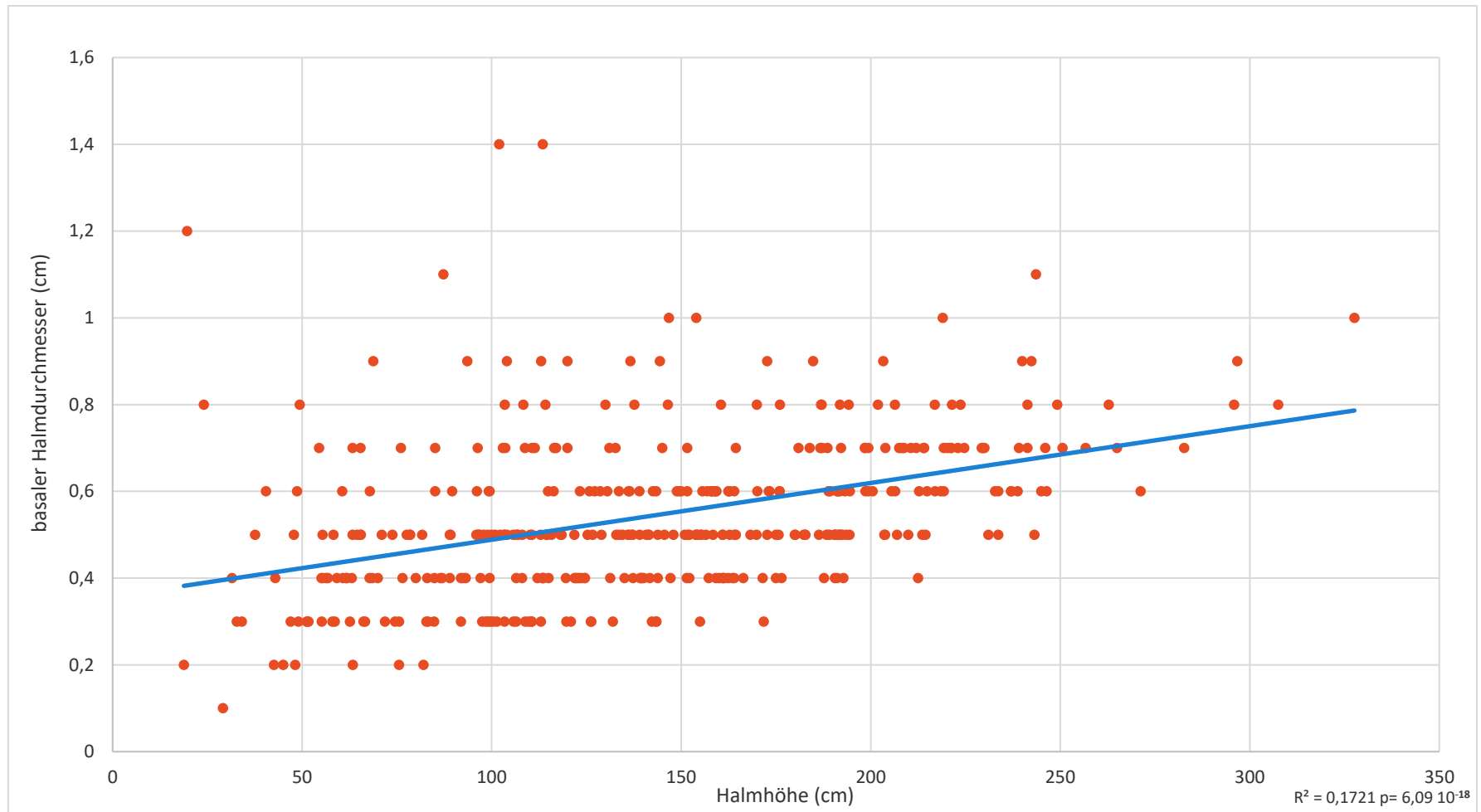


Abbildung 32: Zusammenhang zwischen dem basalen Halmdurchmesser (cm) und der Halmhöhe (cm) pro Halm. Linie= Trendlinie (linear), Punkte= Halme, R^2 (Bestimmtheitsmaß)= 0,1721, p (Signifikanz)= $6,09 \cdot 10^{-18}$.

5. Diskussion

5.1 Biometrische Messungen, Blattflächenindizes und Gehalt und Speicherung an organischem Kohlenstoff

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass zwischen den einzelnen Untersuchungsstandorten, hinsichtlich unterschiedlicher Parameter, deutliche Unterschiede vorherrschen. An allen Untersuchungsstandorten wurden anzahlmäßig mehr Halme ohne Infloreszenz als mit Infloreszenz vorgefunden. Alle vollständig entwickelten Halme von *Phragmites australis* können, theoretisch, blühen, benötigen aber drei bis vier Jahre, um das Blühstadium zu erreichen (vgl. HASLAM 1972: 603). Wenn keine Infloreszenzen ausgebildet werden, könnte dies auf entwicklungs- oder lebensraumbedingte Gründe zurückzuführen sein. (vgl. HASLAM 2010: 44, 66). Möglicherweise ist dieser Umstand auf einen erhöhten Salzgehalt zurückzuführen (vgl. GALLAGHER et al. 1987; ZHEN und MA 2009: 343; BATTERSON und HALL: 1984: 16-20). Zudem ist es wahrscheinlicher, dass größere Halme blühen (vgl. HASLAM 2010: 44, 48; HASLAM 1970: 582-583). Außerdem sollen nach HASLAM (1970: 583) etwa 25% der Halme Infloreszenzen tragen. Diese Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen dieser Arbeit nicht überein, da Halme mit Infloreszenz 17% ausmachten. Es konnte wie von HASLAM (2010) in dieser Arbeit ebenfalls gezeigt werden, dass Halme mit Infloreszenz durchschnittlich höher sind als Halme ohne Infloreszenz. Ein weiterer möglicher Grund für das vermehrte Vorfinden von Halmen ohne Infloreszenz könnte mit dem Zeitpunkt der Erhebung zusammenhängen, welche Ende Oktober bis Anfang November durchgeführt wurde. Die Blühperiode von *Phragmites australis* liegt zwischen Mitte und Ende Juli (vgl. SIEGHARDT et al. 1984: 192) beziehungsweise Anfang August (vgl. HASLAM 1970: 582) und beendet die vegetative Entwicklung.

Im Zuge dieser Arbeit wurden insgesamt mehr Halme ohne Blätter als Halme mit Blättern vorgefunden. Dies könnte damit zusammenhängen, dass zwischen Spätsommer und Spätwinter die Blätter von *Phragmites australis* vom Halm abfallen. Die Ursachen können auf klimatische Umstände, dem Genotyp oder der Temperatur zurückzuführen sein (vgl. HASLAM 2010: 55). Zudem sind die Blätter, bezogen auf die Wasserverfügbarkeit, hoch sensibel. Ein Defizit an Wasserverfügbarkeit hat nach PAGTER et al. (2005: 285) vermindernde Auswirkungen auf die Produktion und Entwicklung von Blättern. Der überwiegende Teil der vorgefundenen Blätter war eingerollt, was nach HASLAM (1972) auf einen erhöhten Salzstress in der Schilfpflanze zurückzuführen ist. Dies könnte ein weiterer Hinweis für einen erhöhten Salzgehalt im Untersuchungsgebiet sein, wie bereits oben beschrieben wurde.

GRANÉLI (1988: 99) beschreibt, dass Halme von *Phragmites australis* stark resistent gegenüber physikalischen und biologischen Abbau sind, wodurch tote, trockene Halme neben der neuen Halmgeneration stehen bleiben. Die Blätter hingegen weisen eine weniger starke

Resistenz gegenüber physikalischen und biologischen Abbau auf, wodurch die Annahme besteht, dass möglicherweise einige tote, trockene Halme ohne Blätter vorgefunden wurden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zu den durchschnittlichen Halmhöhen stimmen mit den Ergebnissen von HASLAM (2010:43) überein, wonach die durchschnittliche Halmhöhe zwischen 10 cm und 10 m sein kann. Die Halmhöhe hängt von der Breite der Knospe ab, die wiederum von der Verfügbarkeit von Nährstoffen abhängt (vgl. HASLAM 1969: 708).

Die Gewichtsanalysen der Trockenmasse zeigen zwischen den Untersuchungsstandorten deutliche Unterschiede auf. DINKA et al (2016: 68) haben 1700-2100 g oberirdische Biomasse m^{-2} am Neusiedlersee erhoben. Diese Ergebnisse weichen von den Ergebnissen dieser Arbeit ab, da im Zuge dieser Arbeit eine durchschnittliche oberirdische Biomasse von 2645,9 g m^{-2} erhoben wurde. DINKA et al. (2010: 244) haben maximal 15,25% Litter vorfinden können. In dieser Arbeit wurden durchschnittlich 20% Trockenmasse Litter erhoben. Das Verhältnis zwischen oberirdischer und unterirdischer Biomasse variiert stark zwischen den einzelnen Untersuchungsstandorten, vor allem wenn die Ergebnisse der unterirdischen Biomasse betrachtet werden. Bemerkenswert ist, dass an Untersuchungsstandorten 3 und 4 mehr oberirdische Biomasse als unterirdische Biomasse erhoben wurde. Dies kann zum einen an der Methode zur Erhebung der unterirdischen Biomasse liegen (siehe 3. Material und Methoden), da die Durchführung der Erhebung selbst sich als teilweise schwierig herausstellte. An manchen Untersuchungsstandorten war es sehr schwer das Rohr aus dem Boden zu ziehen, da der Boden sehr kompakt war. An anderen Untersuchungsstandorten war der Boden sehr locker, wodurch die Bodenprobe teilweise nicht im Rohr verblieben ist, und der Vorgang wiederholt werden musste. Zum anderen hat COOPS (1996: 20) ebenfalls unterschiedliche Verhältnisse zwischen oberirdischer und unterirdischer Biomasse feststellen können, die auf unterschiedliche Wassertiefen zurückzuführen sein könnten, da die Wassertiefe ein entscheidender Faktor für das Wachstum und für morphologische Eigenschaften von *P. australis* ist. Darüber hinaus sind die Dichte und die Wuchstiefe von Wurzeln und Rhizomen von unterschiedlichen Umwelteinflüssen abhängig und kann demnach stark variieren (vgl. MOORE et al. 2012: 612).

Die Anteile an abgestorbener Biomasse („litter“), zwischen den einzelnen Untersuchungsstandorten, weisen in dieser Arbeit große Unterschiede auf. Halme fallen in der Regel (bezogen auf deren Lebensdauer) im dritten Herbst zu Boden und bilden, zusammen mit den Blättern der aktuellen Saison eine „litter-Schicht“ (vgl. HASLAM 1970: 571). Eutrophierung kann nach CLEVERING (1998: 275) zu einer übermäßigen Produktion an „litter“ führen, welche große Auswirkungen auf das Auftreten von *Phragmites australis* hat. Ein vermindertes Wachstum durch „litter“ konnten VAN DER PUTTEN et al. (1997: 534) in deren Arbeit zeigen. Darüber hinaus sind die unterschiedlich hohen Anteile an abgestorbener Biomasse möglicherweise auf

die episodisch auftretenden Überschwemmungen, und dadurch unterschiedlichen hohen Wasserpegeln, zurückzuführen. Die über die Zeit unterschiedlich hohen Wasserpegel können zu einer räumlichen Fixierung von „litter“ führen und möglicherweise die unterschiedlichen hohen Anteile an „litter“ zwischen den einzelnen Untersuchungsstandorten erklären (vgl. CLEVERING und LISSNER 1999: 203). Andererseits könnten die unterschiedlichen mikrotopographischen Unterschiede der Untersuchungsstandorte, welche über dem Wasserspiegel liegen, für die unterschiedlich hohe Akkumulation an „litter“ verantwortlich sein (vgl. LEE 1990: 169). Das unterschiedlich hohe Vorkommen an „litter“ zwischen den einzelnen Untersuchungsstandorten könnte erklärt werden, wenn der Prozess der Zersetzung näher betrachtet wird. Nach HOORENS et al. (2002) ist die Zersetzung von Biomasse in Ökosystemen ein essentieller Prozess. Dieser ist durch drei Faktoren beeinflusst: durch die physikalisch-chemische Umwelt, durch die Qualität von „litter“ und durch zersetzende Organismen (vgl. BÜNEMANN et al. 2004: 891).

Die berechneten Werte der Blattflächenindizes in dieser Arbeit variierten zwischen 0,33 und 1,98 m² m⁻². Die Werte der Blattflächenindizes, welche mit dem „LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer“ bestimmt wurden, waren an allen Untersuchungsstandorten, mit Ausnahme von Untersuchungsstandort 2, höher, als die berechneten Werte. Da der „LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer“ empfindlich gegenüber allen lichtblockierenden Objekten ist, sind die Ergebnisse nicht überraschend. Dennoch wurde am Untersuchungsstandort 2 ein niedrigerer Wert mit dem „LICOR 2200 Plant Canopy Analyzer“ gemessen, was möglicherweise auf einen Messfehler zurückzuführen ist. Die Unterschiede innerhalb der berechneten Werte des LAI könnten auf zwei Faktoren zurückzuführen sein: Zum einen die Größe der Blattflächen pro Halm und zum anderen die Halmdichte der Untersuchungsstandorte (vgl. ANDA et al. 2017: 273). Zudem sollen nach ANDA et al. (2017: 282) wasserlimitierende Faktoren den LAI negativ beeinflussen.

DINKA und SZEGLET (1998: 1832) sowie SIEGHARDT et al. (1984) haben deutlich höherer LAI-Werte am Neusiedlersee feststellen können. DINKA et al. (2010: 241) haben ebenfalls höhere LAI-Werte messen können und haben zudem einen Unterschied zwischen lebenden und abgestorbenen („die-back“) Beständen von *Phragmites australis* feststellen können, wonach die LAI-Werte der abgestorbenen Bestände niedriger waren als jene von den lebenden Beständen.

Die Ergebnisse zum Gehalt des organischen Kohlenstoffs von *P. australis* zeigen in dieser Arbeit große Unterschiede zwischen den Untersuchungsstandorten hinsichtlich der Speicherung von organischem Kohlenstoff. Die durchschnittliche Speicherung an organischem Kohlenstoff der ober- und unterirdischen Biomasse aller Untersuchungsstandorte und aller

Gruppen in dieser Arbeit (933 gC m^{-2}) ist mit den Werten von GONZÁLES et al. (2012: 71) vergleichbar (1000 gC m^{-2}), waren aber niedriger als bei LIAO et al. (2007: 1356-1357), wo 3314 gC m^{-2} gemessen wurden. Die Ergebnisse aus dieser Arbeit zeigen, dass die oberirdische Biomasse einen wichtigen Speicher für organischen Kohlenstoff darstellen. Dieser Umstand ist mit den Ergebnissen von GONZÁLES et al. (2012: 71) vergleichbar, wonach trockene Halme wichtige Reservoirs für organischen Kohlenstoff sind. Der Verfall beziehungsweise das Absterben von trockenen Blättern könnte den Gehalt an organischem Kohlenstoff im „litter“ erklären, da es nach GONZÁLES et al. (2012: 71) die verfallenden Blätter und nicht die Halme sind, die den Gehalt an organischem Kohlenstoff im „litter“ bestimmen.

5.2 Beziehungen zwischen unterschiedlichen Parametern

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Halmhöhe und basalem Halsdurchmesser konnte im Zuge dieser Arbeit festgestellt werden. Diese Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen von GÜSEWELL (2003: 442), HASLAM (1969: 695), KSENOFONTOVA (1988: 31), OSTENDORP (2001: 185) und RITTERBUSCH (2007: 193, 195) überein. COOPS und VAN DER VELDE (1996: 181) konnten keinen Zusammenhang zwischen Halmhöhe und basalem Halmdurchmesser feststellen. Die gegensätzlichen Ergebnisse könnten darauf zurückzuführen sein, dass in natürlichen Gewässern eine Bandbreite an morphologischen Merkmalen und deren Abhängigkeiten vorherrschen (vgl. RITTERBUSCH 2007: 195). Dünne Halme von *Phragmites australis* können kleiner (vgl. HANGANU et al. 1999: 355-356) oder größer sein (DYKYJOVÁ und HRADECKÁ 1976: 34-39).

Die Halmhöhe korreliert stark positiv mit der Anzahl an Nodien beziehungsweise mit der Anzahl an Internodien. DINKA (1982: 261, 1986: 70) hat ebenfalls einen Zusammenhang zwischen Halmhöhe und Anzahl an Internodien feststellen können.

Kein signifikanter Zusammenhang konnte im Zuge dieser Arbeit zwischen dem LAI und der Halmhöhe, sowie dem LAI und dem basalem Halmdurchmesser festgestellt werden. Die Höhe des LAI-Werts hängt mit der Größe der Blattfläche zusammen. Nachdem in dieser Arbeit ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Blattfläche und der Blattanzahl festgestellt wurde, kann daraus schlussgefolgert werden, dass die Höhe des LAI-Werts mit der Blattanzahl zusammenhängt. Die Blattanzahl steigt nach DINKA (1982: 262) mit steigender Halmhöhe. Dieses Ergebnis konnte in dieser Arbeit nicht gezeigt werden, was möglicherweise damit zusammenhängt, dass einerseits mehr Halme ohne Blätter als Halme mit Blättern gefunden wurden. Andererseits hatten größere Halme weniger Blätter als Halme mit einer mittleren Größe. Dieses Ergebnis ist mit Vorsicht zu betrachten, da, theoretisch, aus jedem Nodium ein Blatt wachsen kann und somit die höheren Halme auch anzahlmäßig mehr Blätter haben sollten. Das

Fehlen der Blätter an vielen Halmen kann unter anderem auf den Zeitpunkt der Erhebung zurückzuführen sein, da Blätter von *Phragmites australis* zwischen dem Spätsommer und Spätwinter abfallen (vgl. HASLAM 2010: 55). Da die Erhebungen zwischen Ende Oktober und Anfang November stattgefunden haben, fallen diese genau in den Zeitraum des Laubabwurfes.

Ob anhand der Halmhöhe, beziehungsweise dem basalem Halmdurchmesser, das Gewicht der oberirdische Biomasse errechnet werden kann, konnte mit den Ergebnissen dieser Arbeit nicht gezeigt werden. KAUPPI et al. (1983) konnten in deren Arbeit zeigen, dass die verwendete Gleichung (siehe 3. Material und Methoden) für den Zusammenhang zwischen Halmhöhe und Halmgewicht nützlich ist. Nach KAUPPI et al. (1983: 54) ist das Halmgewicht proportional zur dritten Potenz einer linearen Abmessung der Pflanze. In der vorliegenden Arbeit wurden die Exponenten 1,51 für die Halmhöhe und 1,26 für den basalen Halmdurchmesser errechnet. Diese Werte weichen stark von dem zu erwartenden Wert von 3,0 ab, was möglicherweise auf die unterschiedlichen Methoden, die in dieser Arbeit und in der Arbeit von KAUPPI et al. (1983), zurückzuführen ist. KAUPPI et al. (1983) haben für diese Berechnungen eine Teilstichprobe von 49 Halmen verwendet und haben für jeden einzelnen Halm sowohl die Höhe gemessen als auch das Gewicht gewogen. In dieser Arbeit wurde für diese Berechnung die durchschnittliche Halmhöhe und das durchschnittliche Gewicht pro Halm pro Untersuchungsstandort verwendet, was möglicherweise das abweichende Ergebnis erklärt. Zur Überprüfung wurde zusätzlich mit einem Exponent von 3,0 gerechnet. Die Ergebnisse waren aber jenen Ergebnissen ähnlich, wo mit den Exponenten 1,51 beziehungsweise 1,26 gerechnet wurde.

Kein signifikanter Zusammenhang konnte zwischen dem spezifischen Blattflächenindex und dem LAI festgestellt werden ($p > 0,05$). Demnach kann der spezifische Blattflächenindex nicht herangezogen werden, um den LAI zu schätzen beziehungsweise umgekehrt der LAI kann nicht herangezogen werden, um den spezifischen Blattflächenindex zu schätzen. PIERCE et al. (1994: 319) kommen ebenfalls zu diesem Ergebnis, wonach die Benutzung des LAI, um den spezifischen Blattflächenindex zu schätzen, zu ungeeigneten Ergebnissen führt.

6. Fazit und Implikationen

Aus der Datenerhebung ging hervor, dass große Unterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsstandorten, hinsichtlich biometrischen Messungen, LAI, den Gewichtsanalysen zur Biomasse und zum Gehalt an organischem Kohlenstoff, vorherrschen. Trotz der vermeintlichen Monokultur von *P. australis* haben die Untersuchungen dieser Arbeit gezeigt, dass das Untersuchungsgebiet, bezogen auf die zuvor genannten Parameter, heterogen ist.

Mithilfe der Untersuchung sollte eine Antwort auf die folgende Forschungsfrage gefunden werden: Kann die Biomasse anhand von biometrischen Untersuchungen (Schilfhöhe und -durchmesser) berechnet werden? Diese Zielsetzung wurde nicht erreicht, was möglicherweise auf die verwendete Methode zurückzuführen ist. Um die Frage beantworten zu können, sollte, für andere Forschungen, aus einer Stichprobe von *Phragmites australis* zusätzlich zur Höhe jedes Halmes, auch das Gewicht pro Halm ermittelt werden. Zudem wurde im Zuge dieser Masterarbeit gezeigt, dass der Gehalt an organischem Kohlenstoff weder mit der Halmhöhe noch mit dem basalen Halmdurchmesser zusammenhängt. Die Untersuchungen haben auch gezeigt, dass der LAI weder mit der Halmhöhe noch mit dem basalen Durchmesser zusammenhängt, wobei dieser Umstand möglicherweise auf den Zeitpunkt der Erhebung zurückzuführen.

Im Zuge der Bearbeitung dieser Masterarbeit ist aufgefallen, dass bestimmte Messungen nicht präzise genug gewählt worden sind. Zur Ermittlung des basalen Halmdurchmessers wurden die Werte auf die Zehntelstelle nach dem Kommastrich gerundet. Im Laufe der Bearbeitung dieser Masterarbeit ist aufgefallen, dass die zuvor beschriebene Rundung der Ergebnisse zu unpräzisen Daten führt. Dieser Umstand wird klar, wenn das Ergebnis zum Zusammenhang zwischen basalem Halmdurchmesser und Halmhöhe betrachtet wird. Zukünftig sollte der basale Halmdurchmesser mit einer genaueren Schiebelehre (oder einem anderen Werkzeug) gemessen werden, um präzisere Daten zu erhalten.

Darüber hinaus soll darauf hingewiesen werden, dass die Datenerhebung im Feld als Einzelperson teilweise schwer umsetzbar war, weshalb an manchen Feldtagen auf die Hilfe einer weiteren Person zurückgegriffen wurde. Durch die verschiedenen Fragestellungen und Herangehensweisen zur Beantwortung der Forschungsfragen, musste im Feld einiges an Equipment beziehungsweise Werkzeugen mitgenommen werden. Zudem war ein Vorankommen im Schilfgürtel nahe Illmitz größtenteils sehr schwer, was wiederum die Datenerhebung als Einzelperson sehr schwer machte. Durch die Assistenz einer weiteren Person gestaltete sich die Feldarbeit wesentlich leichter und vor allem zeiteffizienter.

Schließlich soll darauf hingewiesen werden, dass der Zeitpunkt, bezogen auf die Jahreszeit, der Erhebung für die zugrundeliegenden Forschungsfragen, nicht ideal gewählt wurde. Vor allem wenn die Berechnung des LAI betrachtet wird, fällt schnell auf, dass die Werte des LAI von der Anzahl der Blätter und der damit verbundenen Blattfläche abhängig sind. Zu einem früheren Zeitpunkt wären vermutlich mehr Blätter auf den Halmen von *Phragmites australis* zu

finden gewesen. Aufgrund der fortgeschrittenen Jahreszeit und dem homogenen Erscheinungsbild der Halme war es darüber hinaus nicht möglich, zwischen jungen und alten Halmen zu unterscheiden. Diese Daten wären für zukünftige Arbeiten durchaus von Interesse, da, aufgrund der vorliegenden Ergebnisse, angenommen wird, dass viele Halme alt beziehungsweise abgestorben waren.

Literaturverzeichnis

- Anda, A., Brigitta, S., Gabor, S., & Laszlo, M. (2017). Investigation of soybean leaf area influenced by water supply. *IDŐJÁRÁS-Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service Vol. 121, No. 3, July – September*, 265–284.
- Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *PNAS*, S. 6506-6511.
- Baskerville, G. L. (1972). Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Canadian Journal of Forest Research, Vol. 2*, 49-53.
- Batterson, T., & Hall, D. W. (1984). Common reed, *Phragmites australis* (Cav) Trin ex Steudel. *Aquatics* 6, 16-20.
- Beauchamp, C. (2018). Why does biomass samples dry at 60 degree celsius? Abgerufen am 15. August 2023 von <https://www.researchgate.net/post/Why-does-biomass-samples-dry-at-60-degree-celsius/5b2e20028272c9a3c4514e45/citation/download>
- Brix, H. (1999). The European Research Project on Reed Die-Back and Progression (EUREED) . *Limnologica*, 29, 5-10 .
- Bünemann, E. K., Bossio, D. A., Smithson, P. C., Frossard, E., & Oberson, A. (2004). Microbial community composition and substrate use in a highly weathered soil as affected by crop rotation and P fertilization. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 889–901.
- Clevering, O. A. (1998). Effects of litter accumulation and water table on morphology and productivity of *Phragmites australis*. *Wetlands Ecology and Management* 5, 275–287.
- Clevering, O. A., & Lissner, J. (1999). Taxonomy, chromosome numbers, clonal diversity and population dynamics of *Phragmites australis*. *Aquatic Botany Volume 64, Issues 3-4*, 185-208.
- Coops, H., & van der Velde, G. (1996). Effects of waves on helophyte stands: mechanical characteristics of stems of *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris*. *Aquatic Botany* 53, 175-185.
- Coops, H., van den Brink, F. W., & van der Velde, G. (1996). Growth and morphological responses of four helophyte species in an experimental water-depth gradient. *Aquatic Botany* 54, 11-24.
- Csaplovics, E. (2019). Der Schilfgürtel des Neusiedler Sees. *Österr Wasser- und Abfallw*, 71, 494-507.
- Davidson, N. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65, 934–941.
- Dick, G., Dvorak, M., Grüll, A., Kohler, B., & Rauer, G. (1994). *Vogelparadies mit Zukunft?* Wien: Umweltbundesamt.
- Dinka, M. (1982). OBSERVATIONS CONCERNING THE SIZE AND WEIGHT OF ABOVEGROUND ORGANS OF BALATON REED-BEDS. *BFB-Berieht*, 43, 249-266.

- Dinka, M. (1986). The Effect of Mineral Nutrient Enrichment of Lake Balaton on the Common Reed (*Phragmites australis*). *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* Vol. 21, No. 1, 65-84.
- Dinka, M., & Szeglet, P. (1998). Reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steudel) growth and production in different habitats of Neusiedlersee (Lake Fertő). *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 26:4, 1830-1834.
- Dinka, M., Ágoston-Szabó, E., & Szeglet, P. (2010). Comparison between biomass and C, N, P, S contents of vigorous and die-back reed stands of Lake Fertő/Neusiedler See. *Biologia* 65/2, 237—247.
- Dinka, M., Kiss, A., Magyar, N., & Ágoston-Szabó, E. (2016). Effects of the introduction of pre-treated wastewater in a shallow lake reed stand. *Open Geosci.* 8, 62-77.
- Dvorak, M., Laber, J., Ranner, A., Pellingner, A., & Tatai, S. (2016). *Die Vögel des Neusiedler See - Gebiets*. Burgenland: Nationalpark Neusiedler See - Seewinkel, BirdLife Österreich.
- Dykyjová, D., & Hradecká, D. (1976). Production Ecology of *Phragmites communis* 1. Relations of Two Ecotypes to the Microclimate and Nutrient Conditions of Habitat. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* , S. 23-61.
- Engloner, A. I. (2009). Structure, growth dynamics and biomass of reed (*Phragmites australis*) – A review. *Flora* 204, 331-346.
- Erb, K. H., Kastner, T., Plutzer, C., Bais, A. L., Carvalhais, N., Fetzel, T., . . . Luysaert, S. (2018). Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature* 553, 73-76.
- Gallagher, J., Mills, M. J., Wolf, P. L., & Dubinski, B. F. (1987). *Seasonal patterns in storage carbohydrates in Phragmites australis*. Delaware: Waterfowl and Wetlands Symposium.
- Gigante, D., Claudia, A., Flavia, L., Maneli, F., Nisi, B., Vaselli, O., . . . L, L. (2014). New occurrence of reed bed decline in southern Europe: Do permanent flooding and chemical parameters play a role? *Comptes Rendus Biologies*, 337, 487-498.
- González-Alcaraz, M. N., Egea, C., Jiménez-Cárceles, F. J., Párraga, I., María-Cervantes, A., Delgado, M. J., & Álvarez-Rogel, J. (2012). Storage of organic carbon, nitrogen and phosphorus in the soil–plant system of *Phragmites australis* stands from a eutrophicated Mediterranean salt marsh. *Geoderma* 185–186, 61-72.
- Granéli, W. (1989). Influence of standing litter on shoot production in reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Aquatic Botany Volume 35, Issue 1*, 99-109.
- Greve, M. (2010). Vergleich von Methoden zur Erhebung des Blattflächenindex in Wäldern.

- Gunatilaka, A. (1986). Nährstoffkreisläufe im Schilfgürtel des Neusiedler Sees- Auswirkungen des Grünschnittes. *Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland*, S. 223-310.
- Güsewell, S. (2003). Management of *Phragmites australis* in Swiss fen meadows by mowing in early summer. *Wetlands Ecology and Management* 11, 433–445.
- Hanganu, J., Mihail, G., & Coops, H. (1999). Responses of ecotypes of *Phragmites australis* to increased seawater influence: a field study in the Danube Delta, Romania. *Aquatic Botany* 64, 351–358.
- Haslam, S. M. (1969). The development of shoots in *Phragmites communis* Trin. *Annals of Botany*, SEPTEMBER 1969, New Series, Vol. 33, No. 132, 695-709.
- Haslam, S. M. (1970). The Development of the Annual Population in *Phragmites communis* Trin. *Annals of Botany*, New Series, Vol. 34, No. 136, 571-591.
- Haslam, S. M. (1972). *Phragmites Communis* Trin. (*Arundo Phragmites* L.,? *Phragmites Australis* (Cav.) Trin. ex Steudel). *Journal of Ecology*, S. 585-610.
- Haslam, S. M. (2010). *A Book of Reed (Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Streudel, Phragmites communis Trin.)*. England: Forrest Text.
- Hodgson, J. G., Montserrat-Martí, G., Charles, M., Jones, G., Wilson, P., Shipley, B., . . . Royo Pla, F. (2011). Is leaf dry matter content a better predictor of soil fertility than specific leaf area? *Annals of Botany* 108, 1337–1345.
- Hoorens, B., Aets, R., & Stroetenga, M. (2003). Does Initial Litter Chemistry Explain Litter Mixture Effects on Decomposition? *Oecologia*, Dec., 2003, Vol. 137, No. 4, 578-586.
- Kadereit, J. W., Körner, C., Kost, B., & Sonnewald, U. (2014). *Strasburger-Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kauppi, P., SELKÄINAHÖ, J., & PUTTONEN, P. (1983). A method for estimating above-ground biomass in *Phragmites* stands. *Annales Botanici Fennici* Vol. 20, No. 1, 51-55.
- Kiviat, E. (2013). Ecosystem services of *Phragmites* in North America with emphasis on habitat functions. *AoB PLANTS*, S. 1-29.
- Kluge, W., & Otto, F. (1992). Einfluß von terrestrisch-aquatischen Ökotonen auf den Wasser- und Stoffaustausch zwischen Umland und See. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, S. 401-407.
- Ksenofontova, T. (1988). Morphology, Production and Mineral Contents in *Phragmites australis* in Different Waterbodies of the Estonian SSR. *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* Vol. 23, No. 1, 17-43.
- Leblanc, S. G., Chen, J. M., Fernandes, R., Deering, D., & Conley, A. (2005). Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 129, 187–207.

- LECO Corporation. (2018). Abgerufen am 29. August 2023 von https://eu.leco.com/images/Analytical-Application-Library/RC612_TOC_SOIL_ROCK_SHALE_203-821-543.pdf
- Lee, S. Y. (1990). Net aerial primary productivity, litter production and decomposition of the reed *Phragmites communis* in a nature reserve in Hong Kong: management implications. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 66, No. 1/2, 161-173.
- Liao, C., Luo, Y., Jiang, L., X, Z., Wu, X., Fang, C., . . . Li, B. (2007). Invasion of *Spartina alterniflora* Enhanced Ecosystem Carbon and Nitrogen Stocks in the Yangtze Estuary, China. *Ecosystems* Vol. 10, No. 8, 1351-1361.
- LI-COR Biosciences. (2016). *LAI-2200C Plant Canopy Analyzer Instruction Manual*. Nebraska.
- Mal, T. K., & Narine, L. (2003). The biology of Canadian weeds. 129. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. *CANADIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCE*, 365–396.
- Moore, G. E., Burdick, D. M., Peter, C. R., & Keirstead, D. R. (2012). Belowground Biomass of *Phragmites australis* in Coastal Marshes. *NORTHEASTERN NATURALIST* 19 (4), 611–626.
- Morneault, D. (2022). GPS Tracks, Version 4. 2. 7.
- Nemeth, E., & Dvorak, M. (2022). Reed die-back and conservation of small reed birds at Lake Neusiedl, Austria. *Journal of Ornithology*, 163, 683–693 .
- Ostendorp, W., Tiedge, E., & Hille, S. (2001). Effect of eutrophication on culm architecture of lakeshore *Phragmites* reeds. *Aquatic Botany* 69, 2/4, 177-193.
- Packer, J. G., Meyerson, L. A., Skálová, H., Pysek, P., & Kueffer, C. (2017). Biological Flora of the British Isles: *Phragmites australis*. *Journal of Ecology*, S. 1123–1162.
- Pagter, M., Bragato, C., & Brix, H. (2005). Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany* 81(4), 285-299.
- Pfadenhauer, J. S., & Klötzli, F. A. (2014). *Vegetation der Erde-Grundlagen, Ökologie, Verbreitung*. Berlin-Heidelberg: Springer .
- Pierce, L. L., Running, S. W., & Walker, J. (1994). Regional-Scale Relationships of Leaf Area Index to Specific Leaf Area and Leaf Nitrogen Content. *Ecological Applications* Vol. 4, No. 2, 313-321.
- QGIS Development Team. (2020). QGIS. 3.10.
- Ritterbusch, D. (2007). Growth patterns of reed (*Phragmites australis*): the development of reed stands in carp ponds. *Aquaculture International*, 191-199.
- Sailer, C., & Maracek, K. (2019). Der Neusiedler See – ein Überblick. *Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV)*, S. 483–493.
- Schieferstein, B. B. (1999). Ökologische und molekularbiologische Untersuchungen an Schilf (*Phragmites australis* [CAV.] TRIN. ex STEUDEL) von norddeutschen Seen - Ein Überblick. *Limnologica* 29 (1), 28-35.

- Scurlock, J. M., Asner, G. P., & Gower, S. T. (2001). Worldwide Historical Estimates of Leaf Area Index, 1932–2000 . *ORNL/TM-2001/268*, 1-22.
- Sieghardt, H., Burian, K., Maier, R., Hammer, O., & Teuschl, G. (1986). Produktionsbiologische Untersuchungen an Phragmites-Beständen im geschlossenen Schilfgürtel des Neusiedler Sees. *Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland*, S. 189-221.
- Sieghardt, H., Hammer, O., & Teuschl, G. (1984). Das Schilfrohr (*Phragmites Australis* (Cav.) Trin. ex Steudel) - Wachstum und Produktion in verschiedenen Zonen des Schilfwachstum und Produktion in verschiedenen Zonen des Schilfgürtels. *BFB-Bericht*, 52, 37-47.
- Strachan, I., Stewart, D., & Pattey, E. (2005). Determination of Leaf Area Index in Agricultural Systems. In M. Viney, *Micrometeorology in Agricultural Systems* (S. 179-198). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc.
- Universität Wien. (o.D.). *Dissertationsprojekte*. Abgerufen am 18. Februar 2024 von <https://geographie.univie.ac.at/arbeitsgruppen/geooekologie/forschung/laufende-projekte/dissertationsprojekte/>
- van der Putten, W. H., Peters, B. A., & van den Berg, M. S. (1997). Effects of litter on substrate conditions and growth of emergent macrophytes. *New Phytologist Volume 135, Issue 3*, 527-537.
- Wikimedia Foundation Inc. (8. Dezember 2023). *Wikipedia*. Abgerufen am 5. Jänner 2024 von https://de.wikipedia.org/wiki/Studentsche_t-Verteilung#Tabelle_einiger_t-Quantile
- Xiao, C. W., Janssens, I. A., & Curiel Yuste, J. (2006). Variation of specific leaf area and upscaling to leaf area index in mature Scots pine. *Trees* 20, 304–310.
- Zhen, W.-B., & Ma, Q.-H. (2009). Proline metabolism in response to salt stress in common reed w*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudx. *Botanica Marina* 52, 341–347.

Anhang



Bild 1: Ausschnitt aus dem Untersuchungsgebiet am Neusiedlersee bei Illmitz. © Philipp Holzer



Bild 2: Ausschnitt aus dem Untersuchungsgebiet am Neusiedlersee nahe Illmitz. © Philipp Holzer



Bild 3: Reinigung der Eddy-Kovarianz-Messanlage. © Hannah Steiner



Bild 4: Begehung der Untersuchungsstandorte. © Hannah Steiner



Bild 5: Absteckung der Untersuchungsstandorte mit einem selbstgebauten Rahmen. © Philipp Holzer



Bild 6: Messung des LAI mit dem LICOR 2200. © Hannah Steiner



Bild 7: Untersuchungsstandorte nach dem Ernten der Halme von *Phragmites australis*. © Philipp Holzer



Bild 8: Erhebung der unterirdischen Biomasse mit einem Rohr aus Kunststoff. © Philipp Holzer



Bild 9: Links: Holzpflock, um das Rohr in den Boden zu schlagen. Rechts: „Loch“, nachdem das Rohr herausgezogen wurde. © Philipp Holzer



Bild 10: Ermittlung der Höhe der Halme mit einem Zollstock und des basalen Halmdurchmessers mit einer Schiebelehre. © Hannah Steiner



Bild 11: Links: Einscannen der geernteten Blätter von *Phragmites australis*. Rechts: Bild von Blattfragmenten. © Hannah Steiner und Philipp Holzer



Bild 12: Auswaschung des Bodens von der unterirdischen Biomasse. Links: verwendete Siebe. Rechts: Stapelung der Siebe übereinander mit Probe einer unterirdischen Biomasse. © Philipp Holzer



Bild 13: Links: Präparation für die Trocknung der Proben von *Phragmites australis*. Rechts: Proben von *Phragmites australis* im Trocknungsschrank. © Philipp Holzer



Bild 14: Präparation zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffs. Links: Metallcontainer zur Gewinnung einer gemahlten Probe von *Phragmites*. Mitte: Gerät, in welches die Container gegeben werden. Rechts: gemahlene Probe von *Phragmites australis*. © Philipp Holzer



Bild 15: Bestimmung des organischen Kohlenstoffs. © Philipp Holzer

Tabelle 2: Biometrische Daten aller POI.

Kategorie	Einheit	POI 1	POI 2	POI 3	POI 4	POI 5	POI 6	POI 7	POI 8	POI 9	POI 10	POI gesamt (Mittelwert)
Halme mit Infloreszenz	Anzahl pro m ²	48	20	24	8	12	12	4	32	24	80	26,4
Halme ohne Infloreszenz	Anzahl pro m ²	260	144	68	280	92	88	108	36	104	144	132,4
Halme gesamt	Anzahl pro m ²	308	164	92	288	104	100	112	68	128	224	158,8
Halmgewicht/m	g m ⁻¹	3,69	4,74	8,31	4,39	6,39	6,46	6,12	6,86	5,82	3,43	5,62
Trockenmasse: Halme mit Infloreszenz	g m ⁻²	515,44	224,72	561,6	211,64	205,04	255,16	55,28	423,6	370,72	398,64	322,18
Trockenmasse: Halme ohne Infloreszenz	g m ⁻²	1203,88	515,24	958,28	1846,96	835,96	711,16	717,16	132,84	941	403,56	826,60
Trockenmasse: Litter	g m ⁻²	1715,32	227	1833,6	738,8	3516,16	2579,72	361,2	1356,6	1638	1004,6	1497,1
Trockenmasse: unterirdische Biomasse	g m ⁻²	5850,4	6921,12	2589,88	1050,68	6853,52	7486,48	1414,96	2280,36	5637,72	6507,96	4659,31
Trockenmasse: Total	g m ⁻²	9285,04	7888,08	5943,36	3848,08	11410,68	11032,52	2548,6	4193,4	8587,44	8314,76	7305,20
Blätter: Halme mit Infloreszenz	Anzahl pro m ²	96	212	72	40	68	116	56	140	76	192	106,8

Kategorie	Einheit	POI 1	POI 2	POI 3	POI 4	POI 5	POI 6	POI 7	POI 8	POI 9	POI 10	POI gesamt (Mittelwert)
Blätter gesamt	Anzahl m ⁻²	268	1508	128	628	280	380	424	292	208	352	446,8
Blattflächen	cm ² m ⁻²	3283,27	19851,52	5337,85	15120,26	8852,91	13543,62	9658,34	7939,19	7022,14	3849,85	9445,89
LAI (berechnet)	m ² m ⁻²	0,33	1,98	0,53	1,51	0,88	1,35	0,96	0,79	0,7	0,38	0,94
SLA	cm ² g ⁻¹	92,02	122	104,66	162,03	116,36	107,28	152,73	139,08	149,92	130,77	127,69
TOC relativ (Durchschnitt)	g g ⁻¹	50,25	50,59	53,51	50,33	54,61	54,67	54,09	49,13	55,01	53,66	52,58
TOC absolut (Durchschnitt)	gC m ⁻²	1131,83	978,11	790,63	487,33	1491,49	1434,16	337,62	468,70	1174,21	1035,72	932,98
TOC: Halme mit Infloreszenz	gC m ⁻²	253,86	124,00	299,51	113,78	115,76	145,97	30,50	236,11	203,67	222,01	174,52
TOC: Halme ohne Infloreszenz	gC m ⁻²	599,52	252,98	522,44	996,69	468,13	395,13	420,17	70,80	535,29	229,19	449,03
TOC: Litter	gC m ⁻²	949,98	110,33	993,00	342,50	1981,00	1436,72	189,18	627,56	878,10	539,60	804,80
TOC: unterirdische Biomasse	gC m ⁻²	2723,95	3425,12	1347,57	496,35	3401,06	3758,81	710,64	940,33	3079,77	3152,07	2303,57
basaler Halmdurchmesser: Halme gesamt (Mittelwert)	cm	0,46	0,51	0,7	0,56	0,61	0,58	0,83	0,48	0,53	0,42	0,57

Kategorie	Einheit	POI 1	POI 2	POI 3	POI 4	POI 5	POI 6	POI 7	POI 8	POI 9	POI 10	POI gesamt (Mittelwert)
basaler Halmdurchmesser: Halme mit Infloreszenz (Mittelwert)	cm	0,54	0,76	0,73	0,85	0,7	0,8	0,8	0,57	0,6	0,39	0,67
basaler Halmdurchmesser: Halme ohne Infloreszenz (Mittelwert)	cm	0,45	0,47	0,69	0,55	0,59	0,55	0,83	0,4	0,51	0,43	0,55
Nodien: Halme gesamt (Mittelwert)	Anzahl	15	11	16	13	15	15	14	13	15	12	13,98
Nodien: Halme mit Infloreszenz (Mittelwert)	Anzahl	19	17	21	25	19	21	25	18	20	16	20,04
Nodien: Halme ohne Infloreszenz (Mittelwert)	Anzahl	14	11	14	13	15	14	13	9	14	11	12,69
Halmhöhe: gesamt (Mittelwert)	cm	151,45	95,1	198,72	162,92	156,74	149,6	112,66	119,35	169,15	104,33	142,00
Halmhöhe: Halme mit Infloreszenz (Mittelwert)	cm	216,4	162,4	242,92	289,1	141,43	208,77	216,9	161,1	226,73	126,61	199,24
Halmhöhe: Halme ohne Infloreszenz (Mittelwert)	cm	139,47	85,76	183,13	159,33	154,83	141,53	108,8	82,26	164,34	91,96	131,14