

Welche Interaktionen bestehen zwischen den beiden Halophyten *Spergularia media* (L.) C. PRESL und *Suaeda maritima* (L.) DUMORT. ?

Catharina LANDSCHULZ

8 Abbildungen und 3 Tabellen

Abstract

LANDSCHULZ, C.: Are there interactions between the two halophytes *Spergularia media* (L.) C. PRESL and *Suaeda maritima* (L.) DUMORT.? – Hercynia N.F. 42 (2009): 69–91.

Man-made inland salt marshes which are the result of the potash industry have become more and more important as a habitat for rare or endangered species whose habitat has been the eroding primary coastal and inland salt marshes. The aim of this study was to analyse the reasons for the community composition of the both endangered halophytes *Spergularia media* and *Suaeda maritima*. Their occurrence at a secondary inland salt marsh at the potash dump in Teutschenthal-Bahnhof was investigated. Thereby the growth of both objective species and soil characteristics were studied. According to the topographic conditions the study area was divided in dry low-saline habitats and wet high-saline habitats. Soil samples were taken to determine the following edaphic factors: conductivity, soil moisture content, pH and concentration of Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- and CO_3^{2-} . The occurrence of *Spergularia media* and *Suaeda maritima* were compared with these soil characteristics. On the other hand both halophytes were placed together in a competition experiment in the greenhouse to examine if the two species interact. By using two different types of soil, a saline and non-saline one, the effects of different salinity on the growth and interactions between *Spergularia media* and *Suaeda maritima* were investigated. The results of the competition experiment as well as of the investigation in the field have shown no explicit indices of interspecific competition between *Spergularia media* and *Suaeda maritima*. In fact both species have their specific niche which allows them undisturbed growing within the same micro-habitat. The most important variables which explained the occurrence of both halophytes within salt marsh communities seemed to be the salinity and the soil moisture content. Interestingly at the greenhouse experiment *Spergularia media* and *Suaeda maritima* had the best growth with non-saline soil although in literature both species are often classified as obligatory halophytes. These category problems show the need of phrasing uniform criteria for the classification of halophytes to the types “optional” and “obligatory”.

Key words: *Spergularia media*, *Suaeda maritima*, germination, competition, coexistence, soil parameters, classification of halophytes

1 Einleitung

Neben den naturnahen (primären) Salzstandorten (Meeresküsten, Binnensalzstellen) werden die vom Menschen geschaffenen bzw. verursachten (sekundären, anthropogenen) Salzstandorte unterschieden. Menschliches Wirken führte im letzten Jahrhundert zu großen Flächen- und Artenverlusten naturnaher Binnensalzstellen. Im Gegenzug dazu stellen die recht jungen anthropogenen Binnensalzstellen, welche vor allem durch den Kalisalz-Bergbau entstanden, mitunter naturschutzfachlich wertvolle Lebensräume dar (PRINZ 2005). So können sie als Rückzugsgebiete vieler gefährdeter Pflanzen- und Tierarten und als Trittsteine sowie Vermehrungs- und Ausbreitungszentren für eine Neu- und Wiederbesiedlung von Salzstellen fungieren (VAN ELSSEN 1998, WESTHUS et al. 1997). Das daraus wachsende Interesse an diesen sekundären Binnensalzstellen galt in dieser Arbeit den charakteristischen Vegetationsmustern. Bei der Strukturierung und Dynamik von Pflanzengesellschaften sind insbesondere pflanzliche Interaktionen (GRACE & TILMAN 1990) sowie edaphische Faktoren mit variierender Intensität von Bedeutung. Das Ziel dieser Arbeit war zu untersuchen, inwiefern sich die beiden Halophyten *Spergularia media* und *Suaeda*

maritima gegenseitig beeinflussen bzw. welchen Einfluss abiotische Umweltfaktoren auf ihr Verteilungsmuster haben.

Das erste wichtige Stadium einer Pflanze für ihre Etablierung an einem Standort ist das Samen- und Keimpflanzenstadium. Durch einen Vergleich der Keimfähigkeit und des Keimverhaltens von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* sollte zunächst herausgefunden werden, ob bereits in diesem Stadium Unterschiede zwischen beiden Arten auftreten. Dazu wurde die Vitalität der Diasporen sowie der Einfluss verschiedener Salzkonzentrationen auf die Keimung untersucht. Konkurrenz um Ressourcen kann ein Schlüsselprozess in der Struktur von Pflanzengesellschaften sein (HUBER-SANNWALD 2001). Mit Hilfe eines Konkurrenzversuches im Gewächshaus wurde geprüft, ob *Spergularia media* und *Suaeda maritima* miteinander konkurrieren. Die Durchführung dieses Versuches unter Verwendung zwei verschiedener Substrattypen (salzhaltiges Substrat vom Untersuchungsgebiet, Komposterde-Substrat) verfolgte des Weiteren das Ziel, den Einfluss von veränderten abiotischen Bedingungen auf die Interaktionen zwischen *Spergularia media* und *Suaeda maritima* zu ermitteln. Eine Besonderheit beider Arten ist ihr anomales sekundäres Dickenwachstum. Dabei ist das Kambium immer nur eine kurze Zeit aktiv, bildet während der aktiven Phase sekundäres Phloem bzw. sekundäres Xylem und stellt seine Aktivität dann zunächst wieder ein. Nach genetisch determinierter artspezifischer Zeit beginnt dieser Vorgang von neuem, so dass innerhalb einer Vegetationsperiode eine regelmäßige Abfolge von sekundären Phloem und sekundären Xylem gebildet wird. Diese Tatsache veranlasste zudem zu der Frage, ob zwischen den verschiedenen Konkurrenzvarianten und Substrattypen Unterschiede in der Gewebeverteilung und den Feinstrukturen der verholzenden Sprosse erkannt werden können. Wegen zeitlicher Probleme konnten die dazu durchgeführten holzanatomischen Analysen jedoch nur für *Suaeda maritima* erfolgen. Regelmäßige Vegetationsaufnahmen und Beobachtungen des Entwicklungsverlaufes von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* auf einer sekundären Binnensalzstelle an der Kali-Rückstandshalde bei Teutschenthal-Bahnhof sollten außerdem Aufschluss über die Ursachen ihres Verteilungsmusters an Binnensalzstellen geben. Daneben sollten durch bodenanalytische Untersuchungen Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* in Abhängigkeit von den abiotischen Bedingungen erkannt und aufgezeigt werden.

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Lage und Klima

Die Beobachtungen der Vegetationsentwicklung von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* als auch die bodenanalytischen Untersuchungen fanden an einer ausgewählten Fläche der sekundären Binnensalzstelle an der Kali-Rückstandshalde bei Teutschenthal-Bahnhof statt. Die zum Saalekreis gehörende Gemeinde Teutschenthal liegt etwa 10-12 km westlich von Halle (Saale). Klimatisch befindet sich das Untersuchungsgebiet im Mitteldeutschen Trockenraum im Regenschatten des Harzes (LEIBNITZINSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE 2003). Die Jahresmitteltemperatur für dieses Gebiet liegt bei 9,2 °C, wobei der Januar mit einem Mittel von + 0,0 °C der kälteste und der Juli mit einem Mittel von + 18,0 °C der wärmste Monat des Jahres ist. Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge beträgt 473,3 mm (DÖRING & BORG 2008).

2.2 Geologie und Haldenentstehung

Für die Tektonik von Halle (Saale) und Umgebung und damit auch für das Untersuchungsgebiet spielt die Halle-Störung (Hallesche Marktplatzverwerfung) die bedeutendste Rolle. Die Halle-Störung ist Bestandteil eines Systems Südost-Nordwest gerichteter Verwerfungen in Mitteldeutschland, die ein Mosaik von herausgehobenen und abgesunkenen Schollen verursachten. Am Ende der Kreidezeit, d. h. vor mehr als 65 Millionen Jahren, spaltete sich an einer dieser Verwerfungen die Erdkruste auf. Eine Hochscholle hob sich um mehrere hundert Meter gegenüber einer Tiefscholle heraus. Die an diese Verwerfung grenzenden Gesteinsschichten zerbrachen und wurden vertikal aufgerichtet. Diese Vorgänge führten zu einer Zweiteilung des heutigen Strukturbildes. Im Südwesten der Halleschen Marktplatzverwerfung sind die

permokarbonen Gesteine unter mächtiger mesozoischer und känozoischer Bedeckung relativ vollständig erhalten. Im nordöstlichen Teil wurden infolge der Hebungsprozesse die mesozoischen Deckschichten abgetragen und permokarbone Gesteine (u.a. Hallescher Porphyr des Rotliegenden, Salzgesteine des Zechsteins) stehen an.

Die relativ gut plastisch verformbaren Salzgesteine der paläozoischen Zechsteinschichten wurden an den geologischen Störungslinien oberflächennah aufgetrieben (LENZ & WIEDERSICH 1993). Binnensalzstellen entstanden durch eindringendes Grundwasser in oberflächennahe Salzvorkommen der Zechstein-Schichten.

Im Teutschenthaler Sattel ist das Salz mit mehr als 1000 m Mächtigkeit akkumuliert. Über einen Zeitraum von 75 Jahren, von 1907 bis 1982, wurden bei Teutschenthal-Bahnhof Kalisalze zur Düngemittelproduktion, ab 1965 auch zur Speise- und Industriesalzproduktion abgebaut. Das führte zur Entstehung der Kali-Rückstandshalde. In den 1960er Jahren beobachtete man erstmals die Auswaschung und das Abfließen der abgelagerten Salze aus der Kali-Rückstandshalde (JOHN 2000). Durch die Kalisalzförderung und dem damit verbundenen Zufluss von Haldensickerwasser entstanden so in diesem Gebiet Salzstellen rein anthropogenen Ursprungs.

2.3 Entwicklung der Teutschenthaler Salzflora

Die zunehmende Versalzung der Umgebung der Kali-Rückstandshalde bei Teutschenthal-Bahnhof führte im Laufe der Zeit zu einer beträchtlichen Zunahme von Halophyten, was dieses Gebiet zur interessantesten und reichsten Binnensalzstelle im Umkreis des westlichen Saalekreises und angrenzenden Mansfelder Landes macht (JOHN 2000).

In alten Florenwerken (WALLROTH 1822, SPRENGEL 1832, GARCKE 1848) werden für die benachbarten Gebiete der Untersuchungsfläche immer wieder Fundorte von Salzpflanzen genannt, insbesondere am und in der Nähe des ehemaligen Salzigen Sees, im Salzatal bei Langenbogen sowie an den Teichen und auf den Salztriften zwischen Teutschenthal-Bahnhof und Wansleben. Es besteht die Annahme, dass einige Halophyten von dort auf das Gelände um die Kali-Rückstandshalde vorgedrungen sind (JOHN & ZENKER 1996).

Erste konkrete Funde von Halophyten im Bereich der Kali-Rückstandshalde wurden von Stefan Rauschert (bis 1986 Mitarbeiter der MLU Halle) gemeldet, der bei seiner Exkursion im Juli 1965 11 Salzpflanzenarten entdeckte (JOHN 2000). Im Jahr 1999 konnte JOHN (2000) auf dem Gelände bei Teutschenthal-Bahnhof bereits 34 halophile und halotolerante Sippen feststellen.

Rauschert notierte in seinem Exkursionstagebuch von 1965 unter anderem das Auftreten von *Spergularia media* an einer Stelle innerhalb des Untersuchungsgebietes (JOHN 2000). Mit der beginnenden Versalzung des Geländes in den sechziger Jahren kann *Spergularia media* womöglich als erster Neubesiedler dieser Fläche betrachtet werden. In den folgenden Jahrzehnten erfolgte eine enorme Ausbreitung der Art, die man auch häufig in Begleitung von *Salicornia europaea* ssp. *brachystachya* antrifft (JOHN 2000).

Für die nördliche Umgebung der heutigen Halde existieren für *Suaeda maritima* bereits historische Nachweise von SPRENGEL (1832). Die Art galt später im Gebiet der Mansfelder Seen als verschollen und wurde dort wahrscheinlich 1904 zum letzten Mal gesehen (JOHN 2000). Die nächste Erwähnung über Funde von *Suaeda maritima* am Haldenfuß der Kali-Rückstandshalde und an der Austrittsstelle salzhaltiger Wässer nördlich der Halde wurde 1995 in einer Publikation von JOHN & ZENKER (1996) gemacht. Ihr dortiges Auftreten ist womöglich das Resultat einer Besiedlungswelle durch Neuankömmlinge an Kali-Rückstandshalden in Mitteldeutschland. Die Ausbreitung der Art und die explosionsartige Entwicklung ihrer Population in dem Gebiet schreitet seitdem in hohem Maße voran (JOHN 2000). Oftmals findet man *Suaeda maritima* in Begleitung von *Salicornia europaea* ssp. *brachystachya* und *Hymenolobus procumbens*, aber auch in Reinbeständen.

3 Biologie und Verbreitung der beiden Arten

3.1 *Spergularia media* (L.) C. PRESL - Flügelsamige Schuppenmiere

Biologie

Spergularia media, die Flügelsamige Schuppenmiere, gehört zur Familie der Caryophyllaceae (Nelkengewächse). *Spergularia media* ist ein perennierendes, kräftiges, bis zu 40 cm hohes Kraut. Sie besitzt eine Pfahlwurzel, mit der sie den Winter überdauern kann. Der Stängel ist aufsteigend oder auch niederliegend, verzweigt und weist oberwärts meist eine starke drüsige Behaarung auf, welche ebenfalls an den Blütenstielen zu finden ist. Die Art trägt fleischige, etwa 3 (-4) cm lange, schmal linealische Laubblätter. Ihre Nebenblätter sind lang und lanzettlich. Die rosa- bis lilafarbene Blüte von *Spergularia media* zeichnet sich durch zumeist 10 Staubblätter und 3 Griffel aus. Die Blühzeit liegt zwischen Juli und September (JÄGER & WERNER 2005). Die in den etwa 6-12 mm langen Kapseln enthaltenen Samen sind fast kreisrund, dunkelbraun und mit einem breiten weißen Flügelsaum umgeben (HEGI 1979). Die Ausbreitung der Samen dieses Hemikryptophyten erfolgt hauptsächlich durch den Wind (anemochor) bzw. durch das Anheften an Tieren (epizoochor). Die Pflanzen sind sowohl insekten- (entomogam) als auch selbstbestäubt (autogam). Auffällig bei dieser ausdauernden Art ist die Verholzung der Sprossachse durch anomales sekundäres Dickenwachstum. ELLENBERG (2001) ordnet *Spergularia media* die Salzzahl von 8, euhalin, zu. KISON et al. (1986) bezeichnen *Spergularia media* als obligaten Halophyten. Solche Pflanzen sind dadurch charakterisiert, dass sie Salz für eine optimale Entwicklung und ein optimales Wachstum benötigen.

Verbreitung

Das natürliche Verbreitungsgebiet von *Spergularia media* umfasst die Salzstellen der Küsten und des Binnenlandes von Europa bis Westasien und Nordafrika (JÄGER & WERNER 2005, HEGI 1979). In Deutschland kommt diese Art vor allem an den Küsten und auf den Inseln der Nord- und Ostsee vor, aber auch auf Salzstellen des Binnenlandes. *Spergularia media* bevorzugt nasse, stark salzhaltige Schlick- und Sandböden und ist dabei häufig Bestandteil der Ordnung Glauco-Puccinellietalia (Salzmarsche) (JÄGER & WERNER 2005, HEGI 1979). In Teilen Mitteldeutschlands ist die Flügelsamige Schuppenmiere auf der Roten Liste (Sachsen-Anhalt und Thüringen), in Nordrhein-Westfalen und im Saarland gilt sie als verschollen, in Baden-Württemberg wird sie als extrem selten bewertet (KORNECK et al. 1996).

3.2 *Suaeda maritima* (L.) DUMORT. - Strandsode

Biologie

Suaeda maritima gehört zur Familie der Chenopodiaceae (Gänsefußgewächse). *Suaeda maritima* ist eine annuelle, sukkulente Pflanze und wird 10-35 cm hoch (JÄGER & WERNER 2005). Ihr Stängel verzweigt sich mit aufsteigenden oder niederliegenden Ästen. Die Blätter der Strandsode sind ungestielt, länglich bis linealisch, blaugrün, oft rötlich überlaufen (Betalaine) und kahl; die unteren sind oft gegenständig, die oberen immer wechselständig. Die kleinen, unscheinbaren, grünlichen, zuweilen auch rötlich überlaufenen Blüten sind zwittrig und sitzen einzeln oder bis zu 5 geknäult in den Achseln der Blätter. *Suaeda maritima* blüht zwischen Juli und September. Ihre Blüte weist 5 Staubblätter, sowie 2 fadenförmige, sehr kurze Narben auf. Die Strandsode bildet halbkugelige oder scheibenförmige Nüsschen mit meist braunschwarzen, glänzenden und etwas geschnäbelten 1-1,5 mm großen Samen (HEGI 1979). Sie ist ein selbstbestäubender (autogamer) Therophyt, dessen Diasporen durch den Wind (Anemochorie) und Tiere (Epizoochorie), selten durch Wasser (Hydrochorie) ausgebreitet werden (JÄGER & WERNER 2005). Bei der einjährigen Art kommt es zu einer Verholzung des Sprosses durch anomales sekundäres Dickenwachstum. Nach ELLENBERG (2001) ist *Suaeda maritima* mit einer Salzzahl von 8 als euhalin zu bezeichnen. KISON et al. (1986) zählen *Suaeda maritima* zu den obligaten Halophyten, während die Art nach WEISSENBÖCK (1969) zu den fakultativen Halophyten gehört.

Verbreitung

Das natürliche Verbreitungsgebiet von *Suaeda maritima* umfasst die Salzstellen der Küsten und des Binnenlandes in Mittel- und Nordeuropa (MÖLLER 2005, JÄGER & WERNER 2005, HEGI 1979). Im deutschen Raum ist die Art zerstreut entlang der Küsten der Nord- und Ostsee zu finden. Zudem gibt es im Binnenland vereinzelte Vorkommen (JÄGER & WERNER 2005).

Suaeda maritima tritt auf salzhaltigen Schlickböden, vor allem in stickstoffreichen Spülsäumen, auf und ist dann häufig Bestandteil des Strandsoden- (Suaedion) bzw. Andel-Salzrasen- (*Puccinellion maritimae*) Verbandes (JÄGER & WERNER 2005, HEGI 1979). *Suaeda maritima* ist aufgrund ihres Gefährdungsstatus in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Thüringen auf der Roten Liste erfasst (KORNECK et al. 1996).

4 Methoden

4.1 Keimversuche

Die Vitalität der Diasporen sowie der Einfluss verschiedener Salzkonzentrationen auf die Keimung von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* wurden mit Hilfe von Keimversuchen unter standardisierten Bedingungen (Keimschränke mit 20 °C/10 °C, 12 h/12 h Licht-Dunkel-Wechsel) untersucht. Als Salz wurde MgSO₄ ausgewählt, da diese Verbindung ein wesentlicher Bestandteil des Bodenmaterials des Untersuchungsstandortes ist (JOHN 2000). Die Sammlung der reifen Diasporen von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* für die Keimversuche als auch für die anschließenden Konkurrenzversuche fand innerhalb der Untersuchungsfläche an der Kali-Rückstandshalde bei Teutschenthal-Bahnhof statt. Zunächst wurden die Diasporen 12 Wochen unter trockenen Bedingungen bei einer Temperatur um 10 °C gelagert. Anschließend erfolgte an 50 Diasporen pro Art mittels TTC-Test (Triphenyltetrazoliumchlorid-Test) eine Prüfung auf Lebensfähigkeit. Für die Keimversuche wurden 30 Diasporen je Art und pro Behandlung (1 %-, 2 %-, 3 %- und 5 %-ige MgSO₄-Lösung sowie eine Kontrolle mit Aqua dest.) zu jeweils 4 Wiederholungen in Petrischalen angesetzt. Die Petrischalen wurden randomisiert in den Keimschränken („RUMED Typ 1200“, Rubarth Apparate GmbH) platziert. Alle 2 bis 3 Tage wurden die Versuchsansätze kontrolliert und gekeimte Samen entfernt. Die Keimversuche erfolgten über einen Zeitraum von 45 Tagen.

4.2 Konkurrenzversuch im Gewächshaus

Der Konkurrenzversuch unter kontrollierten Bedingungen (20 °C/10 °C, 12 h/12 h Licht-Dunkel-Wechsel) erfolgte nach dem Replacement Design von DE WITT (1960), wobei stets die Individuendichte in den Pflanzentöpfen konstant blieb und nur die Anzahl der Individuen der jeweiligen Art variierte. Als Behälter dienten Pflanzentöpfe (Durchmesser: 12 cm, Höhe: 11 cm), welche mit einem Komposterde-Sand-Gemisch (2:3; pH_{H₂O} 7,6 bzw. pH_{KCl} 7,4; EC: 608 µS/cm) bzw. dem salzhaltigen Substrat vom Untersuchungsstandort (pH_{H₂O} 8,7 bzw. pH_{KCl} 8,8; EC: 6,25 mS/cm) gefüllt waren. Beide Substrattypen wurden vor Verwendung mit heißem Wasserdampf behandelt, um ein Keimlingsaufkommen aus der Diasporenbank zu vermeiden.

In jedem Pflanzentopf befanden sich insgesamt 5 Individuen von *Spergularia media* (X) und *Suaeda maritima* (Y) in variierenden Anteilen: 5X, 4X/1Y, 3X/2Y, 2X/3Y, 1X/4Y, 5Y. Für jede Variante gab es 8 Wiederholungen.

Wie von UNGAR & BINET (1975) für das Keimverhalten von *Spergularia media* bzw. von BAKKER et al. (1985) für das von *Suaeda maritima* ermittelt haben, wurden deren Diasporen vor Versuchsbeginn einer feuchten Kältestratifizierung bei 5 °C über 5 Wochen unterzogen, um so eine erfolgreiche Keimung zu gewährleisten. Danach wurden die Diasporen in die entsprechenden Pflanzentöpfe gebracht, wobei jeweils mehr Diasporen als benötigt ausgesät wurden, um eventuellen Keimausfällen vorzubeugen. Nach erfolgreicher Keimung wurden überflüssige Pflänzchen entfernt. Die Bewässerung der Pflanzentöpfe, deren Abstände zueinander konstant gehalten wurden, erfolgte nach einheitlichen Bedingungen. Die Pflanzentöpfe

wurden in einer Klimakammer des Gewächshauses randomisiert aufgestellt und wöchentlich umplatziert. Der Konkurrenzversuch dauerte 7 Monate.

Zum Zeitpunkt der Fruchtreife erfolgte die Entnahme von Diasporen beider Arten. Anschließend wurden die Diasporen vermessen (Größe, Gewicht) sowie für Keimversuche mit Aqua dest. in Keimschränken mit 20 °C/10 °C bei 12 h/12 h Licht-Dunkel-Wechsel verwendet. Als Indices zur Erfassung der Interaktionseffekte wurde das vegetative Pflanzenwachstum herangezogen (getrocknete oberirdische Biomasse, Wuchshöhe, Anzahl der primären Verzweigungen). Zusätzlich wurden holzanatomische Analysen (Radius des Sprossquerschnittes, Breite des sekundären Xylems i.w.S. Holz, Anzahl der Kambiumabschnitte, Anzahl der Gefäße im Holzteil, Gefäßgrößen, Abb. 1) der Sprosse von *Suaeda maritima* durchgeführt. Mangels Zeit entfiel dies für *Spergularia media*. Für die Anfertigung der Sprossquerschnitte standen das Gefriermikrotom „Leica CM 1900-Kryostat“ und das Schlittenmikrotom „MIC 509 EUROMEX Kleines Schlittenmikrotom“ zur Verfügung. Die anatomischen Querschnitte wurden nach den klassischen Methoden gefärbt (insbesondere mit Astrablau und Safranin, GERLACH 1984), mikroskopiert und fotografiert.

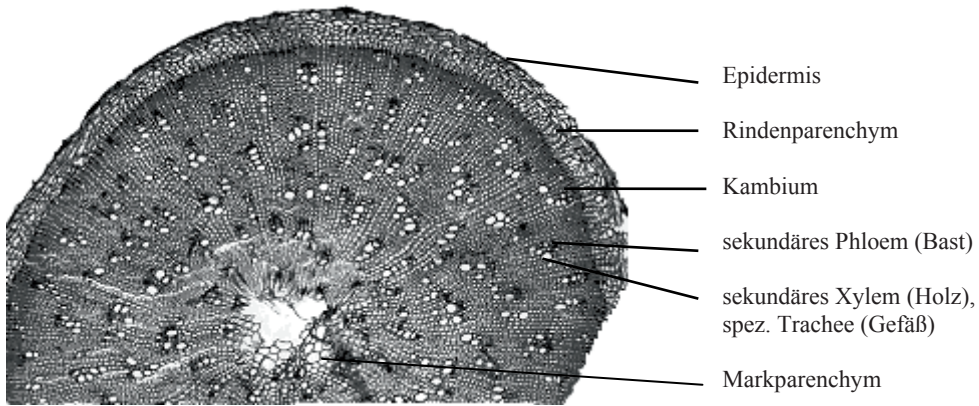


Abb. 1 Anatomie der verholzten Sprossachse von *Suaeda maritima*

Fig. 1 Anatomy of the wooden stem of *Suaeda maritima*

4.3 Freilanduntersuchungen

Vegetationsanalysen

Innerhalb der Salzstelle an der Kali-Rückstandshalde bei Teutschenthal-Bahnhof wurden 16 zufällig ausgewählte Probenflächen mit einer Größe von jeweils 0,5 m x 0,5 m entlang eines ökologischen Gradienten (Salinität, Bodenfeuchte) dauerhaft eingerichtet. Jeweils 8 Probenflächen wurden dabei nach zunächst subjektiver Einschätzung dem „trockenen Habitattyp“ und dem „feuchten Habitattyp“ zugeordnet, unterteilt nach ihrer abfallenden Lage zu einer Wasserstelle hin und dem damit vermuteten Unterschieden im Bodensalz- und Wassergehalt. In festgelegten Abständen von 3 Wochen wurde für die einzelnen Probenflächen die Deckung nach der LONDO-Skala (1975) bestimmt, sowie der phänologische Zustand der einzelnen Arten, d. h. der Zeitpunkt des Blühens, des Verblühens und des Absterbens, festgehalten.

Bodenanalysen

Allen 16 Probenflächen wurden Bodenproben entnommen, wobei die oberen 10 cm des Bodens berücksichtigt und eine eventuell vorhandene Streuschicht vorher entfernt wurde. Zunächst wurde der aktuelle Bodenwassergehalt bestimmt. Das übrige Bodenmaterial wurde luftgetrocknet und gesiebt (2 mm), um anschließend die folgenden weiteren Analysen durchzuführen:

1. Messung der pH-Werte in destilliertem Wasser und in KCl-Lösung (elektrometrisch, Microprozessor pH-Meter „pH 537“ der Firma WTV GmbH Weilheim)
2. Messung der Leitfähigkeit („Cond 315 i“ der Firma WTW GmbH Weilheim)
3. Gehalt an den pflanzenverfügbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ (AAS: Atom-Absorptions-Spektroskopie, AES: Atom-Emissions-Spektroskopie; AAS Vario 6 der Firma Analytik Jena AG.)
4. Sulfatgehalt und Chloridgehalt (im Institut für Bodenkunde der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, „ISD-JY 70 Plus“ der Firma Jobin Yvon – Division d' Instruments)
5. Carbonatgehalt (gasvolumetrisch mittels Scheibler-Apparatur)

Die Einschätzung der Ergebnisse der Bodenanalysen erfolgte nach KUNTZE et al. (1994), SCHLICHTING et al. (1995) und SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002).

4.4 Statistische Analysen und Berechnungen

Die Ermittlung von signifikanten Unterschieden zwischen den jeweiligen Untergruppen innerhalb einer Behandlung erfolgte bei parametrischen Daten mittels einfaktorier ANOVA (Post-Hoc-Test: Tukey-Test), bei parameterfreien Daten mittels Kruskal-Wallis H-Test (Post-Hoc-Test: Dunnett-C-Test). Voraussetzung zur Anwendung dieser Tests war eine vorherige Prüfung der Daten auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test) und auf Homogenität der Varianzen (Levene-Test).

Beim Vergleich von zwei Gruppen normalverteilter Daten mit homogenen Varianzen fand die Anwendung eines t-Tests für Mittelwertvergleiche bei unabhängigen Stichproben statt.

Die Ermittlung von Unterschieden in der Keimgeschwindigkeit während des Keimverlaufes erfolgte über den Timson-Index (TIMSON 1965), modifiziert von KHAN & UNGAR (1984), nach folgender Gleichung:

$$\text{Timson-Index} = \Sigma G / t \quad \begin{array}{l} G = \text{Keimrate (\%)} \text{ im 2-Tage-Intervall} \\ t = \text{totale Keimperiode (Versuchsdauer in Tagen)} \end{array}$$

Je größer der ermittelte Wert dabei ist, umso schneller verläuft die Keimung.

Für eine Bewertung der Interaktionen zwischen beiden Arten wurde der Relative Neighbour Effect (RNE, MARKHAM & CHANWAY 1996) nach folgender Formel berechnet:

$$\text{RNE} = (P_{-N} - P_{+N}) / x \quad \begin{array}{l} x = P_{-N} \quad \text{wenn } P_{-N} > P_{+N} \quad \text{oder} \\ x = P_{+N} \quad \text{wenn } P_{+N} > P_{-N} \end{array}$$

P..... Pflanzenentwicklung (hier: getrocknete oberirdische Biomasse)

P_{-N} ... Entwicklung der Monokultur

P_{+N} ... Entwicklung der Mischkultur

Mit dem RNE wird eine Förderung ($\text{RNE} < 0$) oder Konkurrenz ($\text{RNE} > 0$) der Pflanzen infolge der Wettbewerbssituation erkannt.

Die Datensätze der Freilandhebungen wurden log-transformiert und in einer multivariaten Analyse mittels PCA (Principal Component Analysis) zusammengefasst.

Die Auswertung der Daten erfolgte mit den Programmen „Microsoft Excel“ (Microsoft Office XP. 2002), „PC-ORD (Version 5.12)“, „WinSTAT® für Excel“ und „SPSS“ (SPSS Inc. 2002).

Als Signifikanzniveau für statistische Testverfahren galt $p < 0,05$.

5 Ergebnisse

5.1 Keimversuche

Für *Spergularia media* ergab der TTC-Test eine Lebensfähigkeit der Diasporen von 92 %. Demgegenüber wurden 86 % der untersuchten Diasporen von *Suaeda maritima* für lebensfähig befunden. Unter den verschiedenen Behandlungen begannen sämtliche Diasporen am 6. Tag mit der Keimung. Bei beiden Arten keimten die meisten Diasporen in der 1 %igen $MgSO_4$ -Lösung, was sich aber nur für *Spergularia media* statistisch absichern ließ. Die Anzahl der gekeimten Diasporen nahm tendenziell mit zunehmender Salinität schrittweise ab (Tab. 1).

Außer bei der Behandlung mit 1 %iger $MgSO_4$ -Lösung keimten innerhalb des gleichen Behandlungsansatzes mehr Diasporen von *Suaeda maritima* als von *Spergularia media*. Statistisch belegbar war diese Beobachtung allerdings nur bei der Behandlung mit 2 %iger $MgSO_4$ -Lösung (Tab. 2). Mittels des Timson-Index wurden in Bezug auf die Keimgeschwindigkeiten nur bei *Spergularia media* signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandlungen festgestellt. Hier keimten die Diasporen in der 1 %igen $MgSO_4$ -Lösung deutlich schneller als in den übrigen Ansätzen, ausgenommen des Kontrollansatzes mit Aqua dest. Bei *Suaeda maritima* wurde die höchste Keimgeschwindigkeit ebenfalls in der 1 %igen $MgSO_4$ -Lösung erreicht, am langsamsten verlief die Keimung dagegen in der 5 %igen $MgSO_4$ -Lösung (Tab. 1).

Bei einem statistischen Vergleich der Timson's-Indices beider Arten innerhalb der gleichen Salzkonzentration miteinander zeigten sich für die Behandlungen mit 2 %, 3 % und 5 %iger $MgSO_4$ -Lösung eine signifikant höhere Keimgeschwindigkeit der Diasporen von *Suaeda maritima* (Tab. 2).

Tab. 1 Effekte der verschiedenen Behandlungen auf den Keimbeginn, die prozentuale Keimung und den Timson-Index auf die Diasporen von *Spergularia media* und *Suaeda maritima*. Verschiedene Buchstaben (A, B) kennzeichnen die ermittelten signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen innerhalb einer Art (Tukey-Test, $n = 4$). Es sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Table 1 Effects of the different treatments on the commencement of germination, the final germination percentage and the Timson's Index of the seeds of *Spergularia media* and *Suaeda maritima*. Varied letters (A, B) indicate the calculated significant differences between the treatments within a specie (Tukey-Test, $n = 4$). It is shown means and standard deviation.

Behandlung	Keimbeginn	<i>Spergularia media</i>				<i>Suaeda maritima</i>			
		Keimung (%)	Stabw	Timson-Index	Stabw	Keimung (%)	Stabw	Timson-Index	Stabw
Aqua dest.	6. Tag	47 (A)	11,06	19,60 (A)	4,15	65	15,70	25,31	5,82
1 % $MgSO_4$	6. Tag	73 (B)	20,72	31,31 (B)	9,51	70	11,05	27,82	3,89
2 % $MgSO_4$	6. Tag	34 (B)	8,50	12,64 (B)	5,22	62	15,06	24,43	6,01
3 % $MgSO_4$	6. Tag	32 (B)	17,74	9,86 (B)	5,12	61	14,18	23,51	6,11
5 % $MgSO_4$	6. Tag	28 (AB)	16,59	10,17 (AB)	6,19	53	4,84	19,32	2,13

5.2 Konkurrenzversuch im Gewächshaus

5.2.1 Biometrie und Keimversuche

Alle Individuen von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* innerhalb der verschiedenen Varianten etablierten sich nach der Keimung und überlebten bis zum Ende des Versuches. Die Mehrzahl der untersuch-

Tab. 2 t-Test der prozentualen Keimung und des Timson-Index zwischen den Diasporen von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* (n = 4).Table 2 t-test of the final germination percentage and the Timson's index of the seeds of *Spergularia media* and *Suaeda maritima* (n = 4).

Behandlung	Keimung		Timson-Index	
	<i>Spergularia media</i>	<i>Suaeda maritima</i>	<i>Spergularia media</i>	<i>Suaeda maritima</i>
Aqua dest.	nicht signifikant		nicht signifikant	
1 % MgSO ₄	nicht signifikant		nicht signifikant	
2 % MgSO ₄	p < 0,05		p < 0,05	
3 % MgSO ₄	nicht signifikant		p < 0,05	
5 % MgSO ₄	nicht signifikant		p < 0,05	

ten Parameter zeigten keine eindeutigen Hinweise von interspezifischer Konkurrenz zwischen *Spergularia media* und *Suaeda maritima*. Für die oberirdische Biomasse, die Wuchshöhe und die Anzahl der primären Verzweigungen wurden bei *Spergularia media* weder unter Verwendung des salzhaltigen Substrates noch des Komposterde-Substrates signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten ermittelt. Im Gegensatz dazu ergaben sich zumindest unter Verwendung des Komposterde-Substrates für die oberirdische Biomasse sowie die Wuchshöhe von *Suaeda maritima* signifikante Unterschiede. Dennoch sind diese Unterschiede aufgrund ihrer fehlenden Tendenz keine Effekte von Konkurrenz.

Beim Diasporenumfang und der Diasporenfläche des Versuchansatzes mit salzhaltigem Substrat als auch bei der prozentualen Keimung der Diasporen des Versuchansatzes mit Komposterde-Substrat wurden für *Spergularia media* signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten festgestellt. Signifikanzen wurden außerdem beim Diasporenumfang und der Diasporenfläche unter beiden Substrattypen für *Suaeda maritima* ermittelt. All diese Unterschiede ließen aber keine eindeutige Tendenz erkennen, so dass auch hier nicht von Konkurrenzeffekten ausgegangen werden kann. Bezüglich der prozentualen Keimung der Diasporen von *Suaeda maritima* zeigten sich dagegen keine Signifikanzen (Abb. 2a, b).

Überraschend war, dass die Verwendung des Komposterde-Substrates mit einem deutlich besseren Wachstum von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* gegenüber den Ansätzen mit salzhaltigem Substrat einherging. Auf der Komposterde erreichten die Pflanzen einen höheren Wuchs, produzierten wesentlich mehr oberirdische Biomasse und bildeten mehr Verzweigungen.

Des Weiteren fiel auf, dass *Spergularia media* zu einem früheren Zeitpunkt (Juli – August) blühte und fruchtete als *Suaeda maritima* (August – September).

Die mittleren RNE-Werte zur Bewertung der pflanzlichen Interaktionen lagen bei Verwendung des salzhaltigen Substrats sowohl für *Spergularia media* als auch für *Suaeda maritima* im schwach positiven Bereich. Damit stellten die verschiedenen Varianten für beide Arten eine leichte Konkurrenzsituation dar. Auf Komposterde-Substrat waren die mittleren RNE-Werte für *Spergularia media* schwach positiv, während sie für *Suaeda maritima* schwach negativ waren. Statistisch belegbare Unterschiede existierten bei keinem der untersuchten Fälle (Abb. 3).

5.2.2 Holzanatomie von *Suaeda maritima*

Auf salzhaltigem Substrat waren zwischen den verschiedenen Varianten bezüglich des Sprossradius und der Breite des sekundären Xylems keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Bei zunehmender Dichte von *Suaeda maritima* war dagegen eine tendenzielle Abnahme der Kambiumabschnitte zu erkennen, die

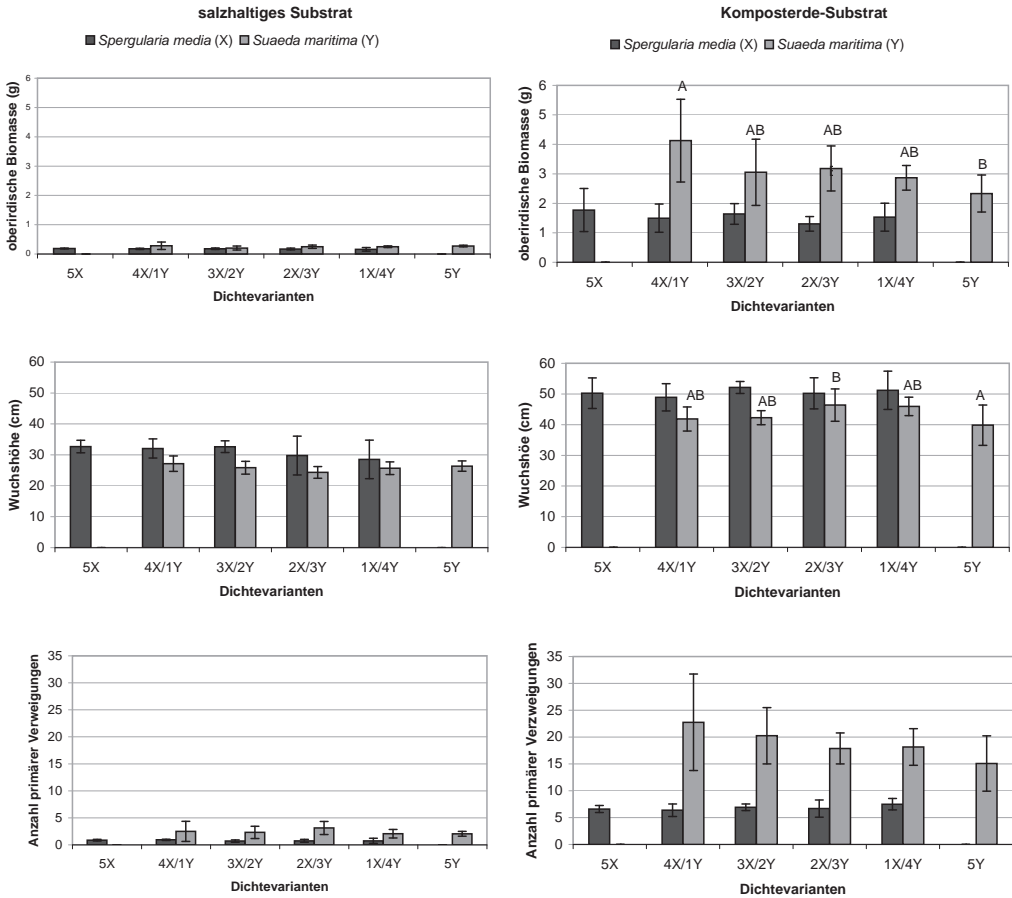


Abb. 2a Oberirdische Biomasse, Wuchshöhe und Anzahl primärer Verzweigungen von *Spergularia media* und *Suaeda maritima*. Verschiedene Buchstaben (A, B) kennzeichnen die ermittelten signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Art (n = 8). Es sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Fig. 2a Above ground biomass, growth height and number of primary branching of *Spergularia media* and *Suaeda maritima*. Varied letters (A, B) indicate the calculated significant differences between the treatments within a species (n = 8). It is shown means and standard deviation.

statistisch nicht abgesichert werden konnte. Zudem erhöhte sich die Anzahl der Gefäße tendenziell mit zunehmender Dichte von *Suaeda maritima*. Trotz schwankender Werte für den Sprossradius und die Breite des sekundären Xylems auf Komposterde-Substrat ließ sich eine tendenzielle Abnahme mit zunehmender Individuendichte von *Suaeda maritima* erkennen. Auch die Anzahl der Kambiumabschnitte erhöhte sich signifikant mit zunehmender Dichte von *Suaeda maritima*. Die Anzahl der Gefäße zeigte dagegen keine Abhängigkeit von den verschiedenen Dichten (Abb. 4).

Bezüglich der minimalen Gefäßgröße wurden auf salzhaltigem Substrat keine statistischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Dichten von *Suaeda maritima* ermittelt. Die maximale Gefäßgröße nahm dagegen tendenziell mit zunehmender Dichte von *Suaeda maritima*-Individuen zu. Auf Komposterde-Substrat verringerten sich sowohl die minimale als auch die maximale Gefäßgröße mit zunehmender Dichte von *Suaeda maritima* und führte damit insgesamt zu kleineren Gefäßen (Abb. 5).

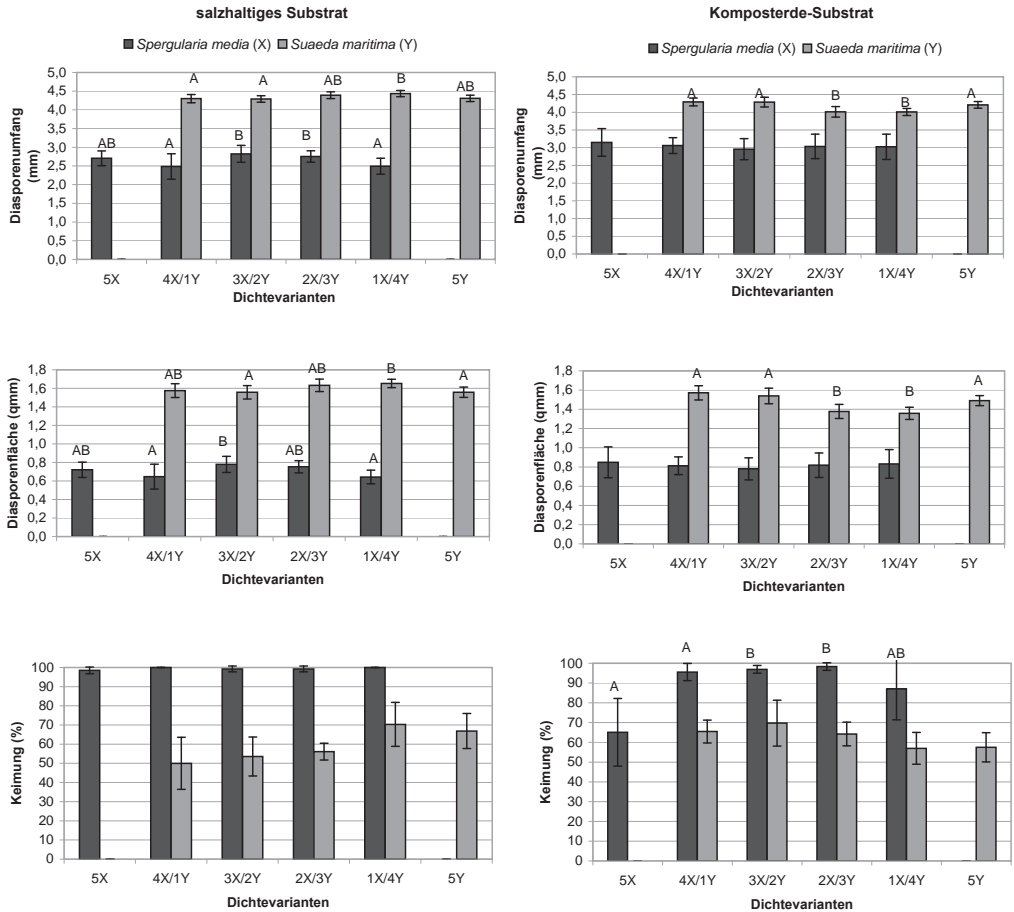


Abb. 2b Diasporenmumfang und -fläche sowie die prozentuale Keimung von *Spargularia media* und *Suaeda maritima*. Verschiedene Buchstaben (A, B) kennzeichnen die ermittelten signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Art (n = 8). Es sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Fig. 2b Perimeter and area of the seeds and the final germination percentage of *Spargularia media* and *Suaeda maritima*. Varied letters (A, B) indicate the calculated significant differences between the treatments within a species (n = 8). It is shown means and standard deviation.

5.3 Freilanduntersuchungen

5.3.1 Bodenparameter der beiden Habitattypen

Die bodenanalytischen Untersuchungen bestätigten die Unterteilung der Untersuchungsfläche in die Habitattypen „feucht“ und „trocken“, wie die Ergebnisse der Messung des Bodenwassergehaltes und der elektrischen Leitfähigkeit als Maß für den ökologisch wirksamen Salzgehalt des Bodens belegen. Beide Mittelwerte sind für die Probenflächen des „trockenen Habitattypes“ signifikant geringer als für die Probenflächen des „feuchten Habitattypes“ (t-Test) (Tab. 3). Hinsichtlich ihrer Leitfähigkeit ist bei beiden Habitattypen auf die hohen Werte hinzuweisen, welche den hohen Gehalt leichtlöslicher Salze in diesen Böden verdeutlicht. Während die Böden des trockenen Habitattypes aufgrund ihres pH-Wertes als „mäßig alkalisch“ einzustufen sind, liegen die Böden des feuchten Habitattypes im „stark alkalischen“ Bereich.

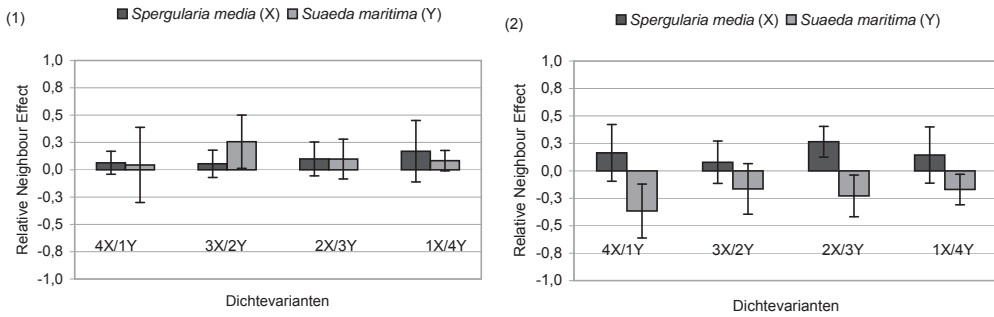


Abb. 3 Relative neighbour Effect (RNE) von *Spargularia media* und *Suaeda maritima* je Variante auf salzigem Substrat (1) und auf Komposterde-Substrat (2) (n = 8). Es sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Fig. 3 Relative neighbour effect (RNE) of *Spargularia media* and *Suaeda maritima* in the different treatments with saline soil (1) and with compost soil (2) (n = 8). It is shown means and standard deviation.

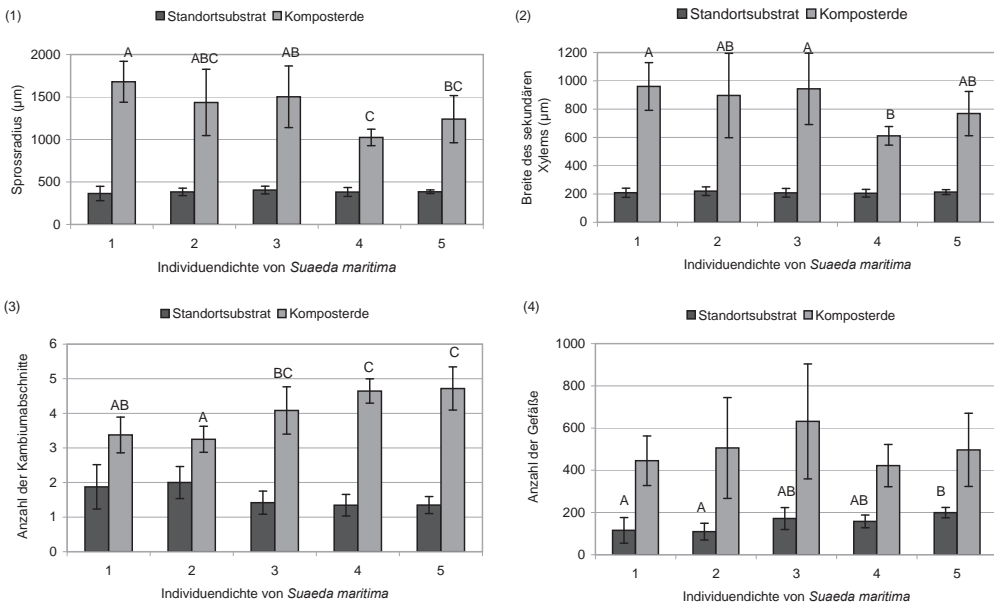


Abb. 4 Sprossradius (1), Breite des sekundären Xylems (2), Anzahl der Kambiumabschnitte (3) und Anzahl der Gefäße im Holzteil (4) von *Suaeda maritima*. Verschiedene Buchstaben (A, B, C) kennzeichnen die ermittelten signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Substrattypes (n = 8). Es sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Fig. 4 Radius of the stem (1), width of the secondary xylem (2), number of cambium segments (3) and number of the vascular in the wood (4) of *Suaeda maritima*. Varied letters (A, B, C) indicate the calculated significant differences between the treatments within a type of soil (n = 8). It is shown means and standard deviation.

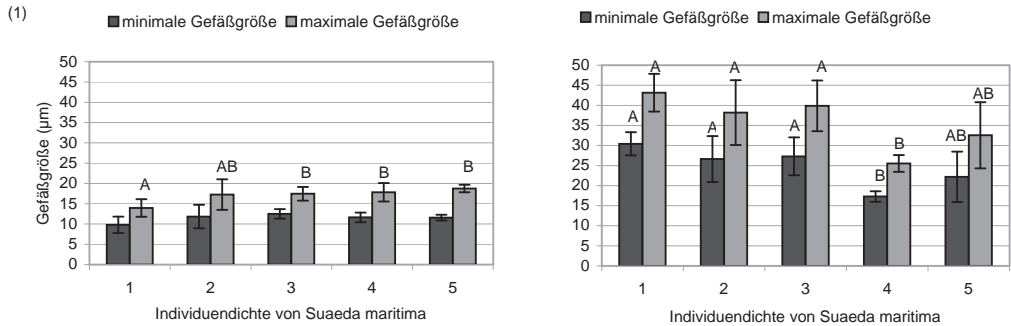


Abb. 5 Minimaler und maximaler Gefäßdurchmesser je Variante auf salzigem Substrat (1) und auf Komposterde-Substrat (2) von *Suaeda maritima*. Verschiedene Buchstaben (A, B) kennzeichnen die ermittelten signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten (n = 8). Es sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Fig. 5 Minimum and maximum vascular diameter per treatment with saline soil (1) and with compost soil (2) of *Suaeda maritima*. Varied letters (A, B) indicate the calculated significant differences between the treatments (n = 8). It is shown means and standard deviation.

Tab. 3 Wassergehalte, Leitfähigkeiten und pH-Werte (in Aqua dest. und 1N KCl) der Böden beider Habitattypen (feucht, trocken) (Mittelwerte und Spannweiten in Klammern).

Table 3 Soil moisture, conductivity and pH (in aqua dest. and 1N KCl) of the soils of both types of habitats (wet, dry) (mean values and range in bracket).

	Wassergehalt (in %)	Leitfähigkeit (in mS/cm)	pH (Aqua dest.)	pH (KCl)
Böden des feuchten Habitattypes (n = 8)	48,9 (46,3 – 51,4)	25,8 (21,4 – 29,6)	9,2 (9,0 – 9,3)	9,2 (9,1 – 9,4)
Böden des trockenen Habitattypes (n = 8)	46,3 (41,2 – 49,1)	14,8 (9,5 – 17,8)	8,7 (8,2 – 9,1)	8,8 (8,3 – 9,2)

Bei Betrachtung der Salzzusammensetzung des Bodensubstrates fällt auf, dass die Böden des feuchten Habitattypes hinsichtlich ihres Ionengehaltes an Na⁺, K⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ und Cl⁻ signifikant höhere Werte aufweisen als die Böden des trockenen Habitattypes. Dagegen sind der Ca²⁺-Ionengehalt sowie der Gehalt an Carbonat bei den Böden des trockenen Habitattypes höher (Abb. 6). Insgesamt liegen die gemessenen Kat- und Anionenkonzentrationen im „mittleren“ bis „sehr hohen“ Bereich. Außerdem ist der Boden der Untersuchungsfläche aufgrund seines hohen Carbonatgehaltes als „stark“ bis „sehr stark carbonathaltig“ einzustufen.

5.3.2 Zusammenhang zwischen Vegetations- und Bodenparametern

Abb. 7 zeigt die anteilige Deckung von *Spergularia media* und von *Suaeda maritima* für die einzelnen Probenflächen sowie die dazugehörigen Messwerte der Leitfähigkeit des Bodens. Die Probenflächen des feuchten Habitattypes zeigen einen signifikant geringeren Deckungsanteil von *Spergularia media* (t-Test, p < 0,0001) und von *Suaeda maritima* (t-Test, p < 0,004) gegenüber den Probenflächen des trockenen Habitattypes. In den Probenflächen „4“ und „8“ kam sogar keine der beiden Arten vor. Beim Vergleich ihres Deckungsanteils innerhalb des gleichen Habitattypes ergaben sich zwischen *Spergularia media* und *Suaeda maritima* jedoch keine statistisch abgesicherten Unterschiede.

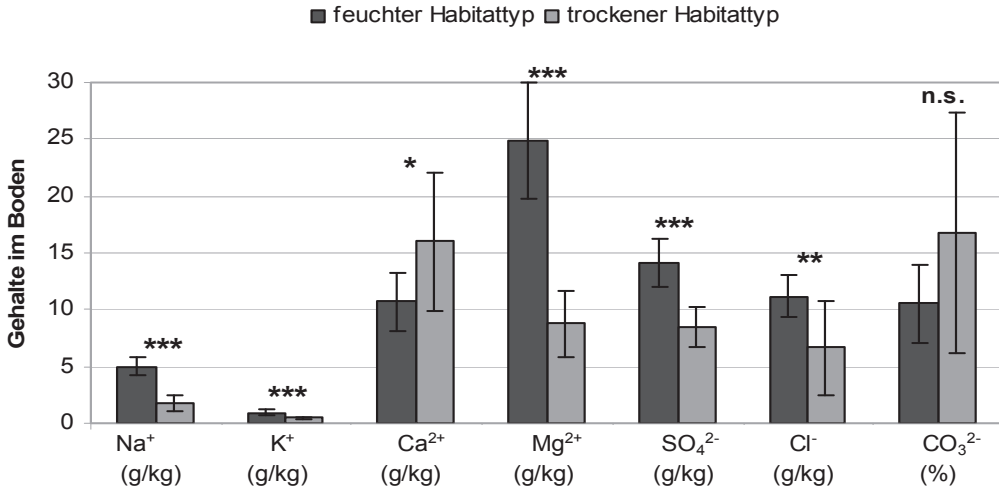


Abb. 6 Vergleich der Gehalte an Kationen und Anionen zwischen den Böden des feuchten und des trockenen Habittypes (n = 8). Signifikante Unterschiede innerhalb einer Gruppe sind durch * dargestellt (t-Test, n.s. = nicht signifikant, * = p < 0,05, ** = p < 0,01, *** = p < 0,001). Es sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben.

Fig. 6 Comparison of the content of cations and anions between the soils of the wet and of the dry type of habitat (n = 8). Significant differences within one group were illustrate by * (t-Test, n.s. = not significant, * = p < 0,05, ** = p < 0,01, *** = p < 0,001). It is shown means and standard deviation.

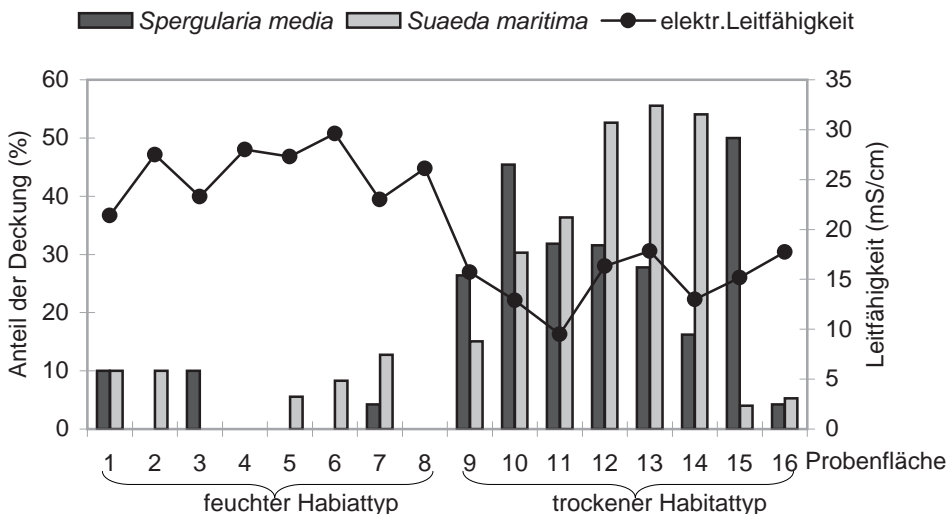


Abb. 7 Anteil der Deckung von *Spargularia media* und *Suaeda maritima* für die einzelnen Probenflächen (bezogen auf die letztmalig erfolgte Vegetationsaufnahme Ende September) sowie die dazugehörigen Messwerte der Leitfähigkeit des Bodens.

Fig. 7 Cover ratio of *Spargularia media* and *Suaeda maritima* for single samples (referring to the last surveys in september) and the associated measured data of soil conductivity.

Weitere Arten, wie *Salicornia europaea*, *Aster tripolium*, *Silene pratensis*, *Hymenolobus procumbens* und *Puccinellia distans* waren ebenfalls auf den Probenflächen vertreten.

Die Anthezeit von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* fand nicht zeitgleich statt, sondern umfasste bei *Spergularia media* den Juli bis Anfang September und bei *Suaeda maritima* Mitte August bis Ende September.

Zur Auswertung und Veranschaulichung der multivariaten Datensätze der Freilandhebungen wurde eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) genutzt. Mit einer Detrended Correspondence Analysis (DCA) wurde aber zunächst die Gradientenlänge von 1,855 SD (standard deviation) für Achse 1, von 1,423 SD für Achse 2 und von 1,014 SD für Achse 3 ermittelt. Da diese Werte alle < 3 SD waren, eignete sich zur Auswertung des Datensatzes das lineare Modell der Hauptkomponentenanalyse (LEYER & WESCHE 2007).

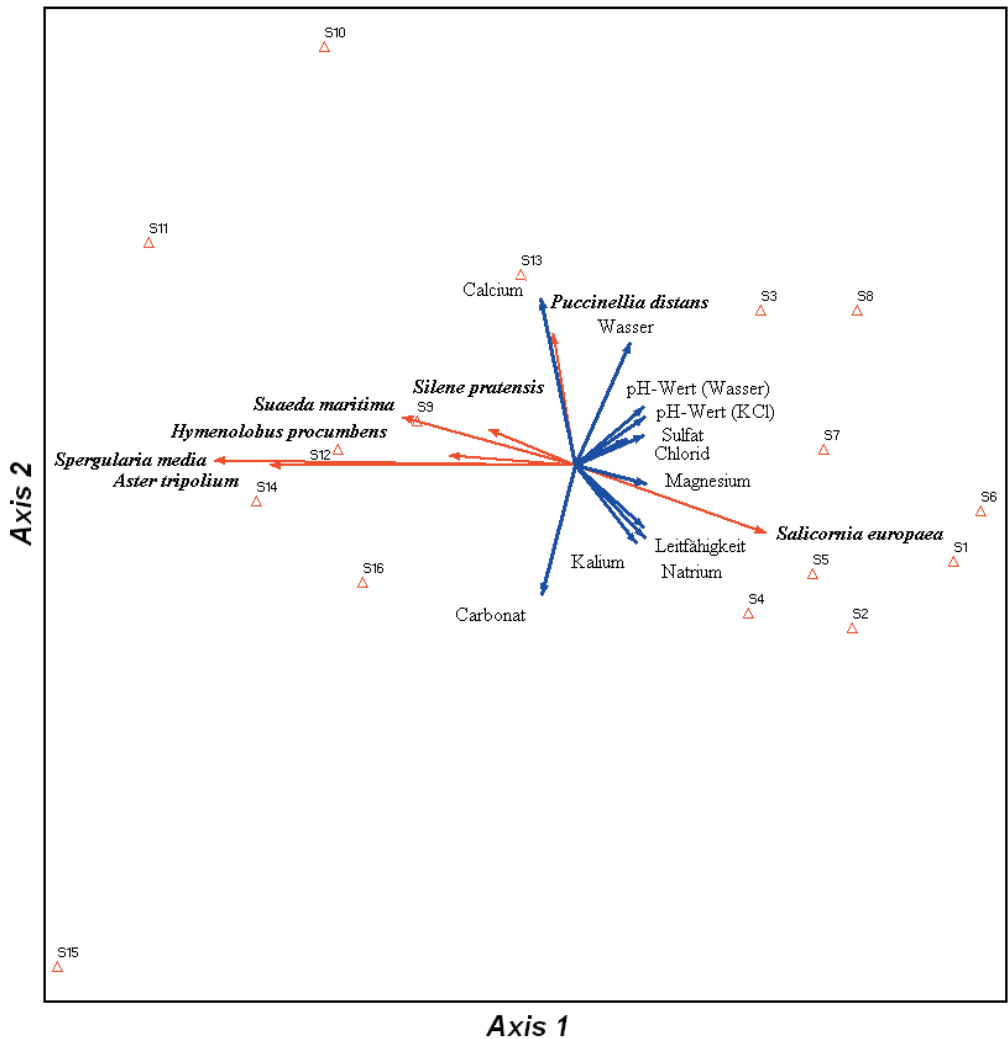


Abb. 8 PCA der Bodenparameter für die von verschiedenen Arten besiedelten Plots (S1 – S16).

Fig. 8 PCA of soil-parameters for plots (S1 – S16) settled by various species.

Die in Abb. 8 dargestellte Hauptkomponentenanalyse (PCA), beruhend auf den Deckungswerten aller Arten und den erhobenen Bodenparametern, zeigt recht deutlich, dass sich *Spergularia media* und *Suaeda maritima* stark in ihren Standortansprüchen ähneln. Ihre Vektoren, so wie auch die Vektoren von *Aster tripolium*, *Silene pratensis* und *Hymenolobus procumbens*, liegen relativ eng beieinander und sind somit positiv korreliert. *Salicornia europaea* dagegen lässt eine negative Korrelation erkennen, während *Puccinellia distans* eher unkorreliert ist. Die Mehrzahl der Bodenparameter sind positiv mit *Salicornia europaea*, aber negativ mit *Suaeda maritima*, *Spergularia media*, *Aster tripolium*, *Silene pratensis* und *Hymenolobus procumbens* korreliert. Die Zunahme des Kationen-Gehaltes (K^+ , Na^+ , Mg^{2+}) des Bodens führte demnach zu einem verstärkten Auftreten von *Salicornia europaea* und einem reduzierten Vorkommen der übrigen Arten. Die 1. Achse mit einem Eigenwert von 6,865 erklärt dabei 62,41 % der Varianz des Datenmaterials.

Die Korrelationskoeffizienten der Tab. 3 zeigen, dass die Deckung von *Spergularia media* ($r = -0,885$) am stärksten negativ mit der ersten Achse korreliert, aber auch die Deckung von *Suaeda maritima* weist einen hohen negativen Korrelationskoeffizienten ($r = -0,612$) auf. Einzig *Salicornia europaea* zeigt eine positive Korrelation ($r = +0,643$) mit der ersten Achse in Richtung zunehmender Salzkonzentration.

Tab. 3 Pearson Korrelationen der Vegetationsdaten-Vektoren mit den 3 ersten Ordinationsachsen (log-transformierte Daten).

Table 3 Pearson correlation of vegetation-data-vectors with the first 3 ordination-axis (log-transformed data).

	Achse 1		Achse 2		Achse 3	
	r	r ²	r	r ²	r	r ²
<i>Spergularia media</i>	-0,885	0,784	0,103	0,011	-0,130	0,017
<i>Suaeda maritima</i>	-0,612	0,375	0,324	0,105	0,131	0,017
<i>Salicornia europaea</i>	0,643	0,413	-0,383	0,147	-0,362	0,131
<i>Aster tripolium</i>	-0,814	0,663	-0,021	0,000	-0,082	0,007
<i>Hymenolobus procumbens</i>	-0,523	0,273	0,150	0,022	0,230	0,053
<i>Silene pratensis</i>	-0,433	0,187	0,281	0,079	0,642	0,412
<i>Puccinellia distans</i>	-0,220	0,048	0,536	0,287	-0,373	0,139

6 Diskussion

6.1 Keimungsbiologie

Die beiden untersuchten Arten wiesen in der Keimfähigkeit ihrer Diasporen und in ihrem Keimverhalten keine bedeutenden Unterschiede auf. *Spergularia media* und *Suaeda maritima* produzieren Diasporen von hoher Vitalität (92 % bzw. 86 %). CHAPMAN (1947) indessen stellte eine geringe Lebensfähigkeit der Diasporen von *Suaeda maritima* fest. Demgegenüber wurden in anderen Studien (TESSIER et al. 2000; PRINZ 2005) ebenfalls nahezu alle *Suaeda maritima*-Diasporen für vital befunden. Sowohl die Diasporen von *Spergularia media* als auch von *Suaeda maritima* weisen eine physiologische Dormanz auf. Um diese zu überwinden, ist laut Literatur (UNGAR & BINET 1975; BAKKER et al. 1985) eine Kältestratifizierung der Diasporen bei 5 °C über 30 Tage notwendig. Doch trotz das diese explizite Kältestratifizierung entfiel und die Diasporen stattdessen nur über einen längeren Zeitraum (12 Wochen) bei etwa 10 °C lagerten, erzielten dennoch beide Arten gute Keimerfolge. Die Diasporen beider Arten scheinen somit lediglich schwach (nondeep) dormant zu sein, so dass die Dormanz leicht überwunden werden kann (BASKIN &

BASKIN 1998). Die Keimung der Diasporen setzte sowohl bei *Spergularia media* als auch bei *Suaeda maritima* am 6. Tag in großer Zahl synchron ein und nahm dann rasch ab. Geringe Unterschiede zwischen beiden Halophyten ergaben sich dagegen in der Keimgeschwindigkeit und in der Zahl der gekeimten Diasporen. In den Ansätzen mit 2 %, 3 % und 5 %iger MgSO_4 -Lösung begannen die Diasporen von *Suaeda maritima* signifikant schneller zu keimen als die von *Spergularia media*. Aber nur in der 2 %igen MgSO_4 -Lösung erreichte *Suaeda maritima* auch eine signifikant höhere Keimung als *Spergularia media*. Die Zahl der gekeimten Diasporen von *Spergularia media* nahm signifikant mit steigender Salinität ab, bei *Suaeda maritima* wurden hingegen mit zunehmender Salinität nur tendenziell geringere Keimerfolge erzielt. Eine erfolgreiche Keimung scheint also bei *Spergularia media* im stärkeren Maße von einer geringen Salzkonzentration abzuhängen als bei *Suaeda maritima*. Die *Suaeda maritima*-Diasporen wiesen außerdem eine höhere Salztoleranz auf. UNGAR & BINET (1975) vermuten, dass bei *Spergularia media* eine hohe Salinität zur Hemmung von keimfördernden Substanzen (Gibberellinsäure) und zur Zunahme der Konzentration keimhemmender Substanzen (Abscisinsäure) führt. Für *Suaeda maritima* belegt dagegen auch eine Studie von TESSIER et al. (2000) deren anhaltend gute Keimfähigkeit trotz hoher Salinität.

Entgegen den Ergebnissen anderer Studien (CHAPMAN 1960; BAKKER et al. 1985; KHAN & UNGAR 1996a), wonach die Mehrzahl der untersuchten Halophyten die größten Keimerfolge unter salzfreien Bedingungen erzielten und schon geringe Salzkonzentrationen zu einer verminderten Keimung führten, wurden bei *Spergularia media* und *Suaeda maritima* die höchsten Keimerfolge mit 1 %iger MgSO_4 -Lösung erreicht. Ein gewisser Salzgehalt scheint sich also förderlich auf die Keimung beider Arten auszuwirken, was vermutlich eine Anpassung an die schwankenden Bodensalzkonzentrationen ihrer Habitate darstellt. *Spergularia media* und *Suaeda maritima* beginnen im Frühjahr zu keimen. Zu diesem Zeitpunkt ist der Salzgehalt der Bodenlösung vermindert (hohe Niederschläge, relativ geringe Evaporation) und die Keimung begünstigt (TESSIER et al. 2000).

Je nach Autor werden *Spergularia media* und *Suaeda maritima* sowohl dem transienten (< 1 Jahr lebensfähige Diasporen) als auch dem short-term persistenten (> 1 bis < 5 Jahre lebensfähige Diasporen) Diasporenbanktyp zugeordnet (THOMPSON et al. 1997). Nach KHAN & UNGAR (1996a) unterscheiden sich annuelle und perenne Halophyten in ihrer Samenökologie. Demnach bilden annuelle Halophyten riesige dauerhafte (persistente) Diasporenbanken aus, keimen im zeitigen Frühjahr und besitzen eine Dormanz, die über die Salinität und die Thermoperiode reguliert wird. Perenne Halophyten hingegen bilden oft kurzlebige (transiente) Diasporenbanken und keimen bei reichlicher Bodenfeuchte aus. Dem entgegen weist bei den eigenen Keimversuche die rasante Keimung der *Suaeda maritima*-Diasporen vielmehr auf kurzlebige Diasporen hin, die alsbald unter günstigen absehbaren Umweltbedingungen zu keimen beginnen, wie dies z. B. auch auf *Salicornia europaea* zutrifft (TESSIER et al. 2000). Die günstigen Keimbedingungen des Frühjahrs führen zu einem Aufbrauchen der Diasporenbank und machen den Aufbau einer langlebigen dauerhaften Diasporenbank unwahrscheinlich (TESSIER et al. 2000).

6.2 Zusammenhang zwischen biotischen Faktoren und Verbreitungsmuster

Unter Verwendung des salzhaltigen Substrats kam es zwischen *Spergularia media* und *Suaeda maritima* zu keiner gegenseitigen negativen Beeinflussung, die sich in einer verminderten Biomasseproduktion oder erhöhten Mortalität (ECKSTEIN 2005) hätte zeigen können. Signifikante Unterschiede bezüglich der Mehrzahl der erhobenen biometrischen Parameter (oberirdische Biomasse, Wuchshöhe, Verzweigungen, Diasporengröße, Keimversuche) ergaben sich kaum. Daher sind die geringen positiven RNE-Werte, die für beide Arten unter allen Dichteverhältnissen berechnet wurden, vernachlässigbar. Unter Verwendung des salzfreien Komposterde-Substrats beeinflussten sich beide Arten ebenfalls größtenteils nicht gegenseitig negativ in ihrem Wachstum und der Qualität ihrer Diasporen. Auch wenn die geringen positiven RNE-Werte von *Spergularia media* auf eine schwache Konkurrenzsituation und die geringen negativen RNE-Werte von *Suaeda maritima* auf eine leichte Förderung hindeuteten, so wurden dennoch keine beachtenswerten Interaktionseffekte zwischen beiden Arten deutlich. Entgegen den eigenen Ergebnissen hatte bei zahlreichen anderen Versuchen mit Halophyten (BARBOUR 1978, PENNINGS & CALLAWAY 1992,

BERTNESS & YEH 1994, HUCKLE et al. 2000) eine verringerte Bodensalinität eine starke Zunahme der Konkurrenzeffekte zur Folge. Die Konkurrenzeffekte waren dabei am größten bei minimalem abiotischen Stress (= geringer Salinität) und geringer bzw. nicht mehr vorhanden unter zunehmendem abiotischen Stress (= hoher Salinität).

Die Beobachtung ihres Auftretens und ihres Entwicklungsverlaufes an der sekundären Binnensalzstelle lieferte keinerlei Anhaltspunkte für ein gegenseitiges Ausschließen von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* in ihrem Vorkommen. Beide Arten besetzen die gleichen Mikrohabitate. Sie scheinen sich in ihrer Ressourcennutzung entweder zu ergänzen oder auszuschließen (Nischendifferenzierung), anstatt sich zu überlappen (Ausschlussprinzip) (HUBER-SANNWALD 2001). Im Einklang dazu sind die Beobachtungen sowohl des Konkurrenzversuches als auch die des Freilandes, dass *Spergularia media* und *Suaeda maritima* zu unterschiedlichen Zeiten blühten und fruchteten. Ihre Hauptausbreitungszeit ist somit ebenfalls verschieden (WOLTERS et al. 2005). Der Unterschied zwischen *Spergularia media* und *Suaeda maritima* in der zeitlichen Abfolge wichtiger Lebensphasen, d. h. ihre unterschiedliche Einnischung, gewährleistet damit eine Koexistenz beider Arten auf sehr kleinen Raum. Darüber hinaus bestehen zwischen Beiden Unterschiede in ihrer Lebensdauer, ihrer Lebensform und in ihrer Blattausdauer, so dass all die unterschiedlichen Wesensmerkmale den beiden Halophyten wahrscheinlich die gemeinsame Besiedlung des gleichen Mikrohabitates ermöglichen.

Bei den holzanatomischen Untersuchungen der Sprosse von *Suaeda maritima* ergaben sich interessante Aspekte. Auf salzhaltigem Substrat wiesen weder der Sprossradius noch die Breite des sekundären Xylems bedeutende Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten auf. Die Aktivität der Kambien war hier sehr gering, was sich in der geringen Breite des sekundären Xylems (Holz) zeigte. Das primäre und sekundäre Dickenwachstum des Sprosses wurde unter Salzstress generell stark eingeschränkt. Mit zunehmender Dichte von *Suaeda maritima* erhöhten sich allerdings die Anzahl der Gefäße im Holzteil sowie die maximale Gefäßgröße, vermutlich als Folge intraspezifischer Konkurrenz. Die Bildung von mehr und größeren Gefäßen wurde womöglich notwendig, um weiterhin eine gute Wasserversorgung trotz begrenzter Ressourcen aufgrund zunehmender intraspezifischer Konkurrenz gewährleisten zu können. Ohne Salzstress auf Komposterde nahmen dagegen mit zunehmender Dichte von *Suaeda maritima* tendenziell der Sprossradius, die Breite des sekundären Xylems und die Gefäßgröße von *Suaeda maritima* ab, während die Anzahl der Gefäße unbeeinflusst blieb. Die meisten der analysierten Holzparameter des Versuchs mit Komposterde wurden somit vermutlich insbesondere durch intraspezifische Konkurrenz negativ beeinflusst. Wie auch eine Studie an anderen Halophyten bestätigt, gibt es bei der Holzanatomie in Abhängigkeit der wirkenden abiotischen Umweltfaktoren intraspezifische Variationen. So führten z. B. schon geringe Salzkonzentrationen bei *Deschampsia cespitosa* (Poaceae) zu einer erhöhten Verholzung während sich bei *Jaumea carnosa* (Asteraceae) die Anzahl der sekundären Gefäße erhöhte. Besonders bei den Ergebnissen zur Holzanatomie wird deutlich, dass in der Flora von Binnensalzstellen Konkurrenz eher zurücktritt, da Salz als sehr starker Habitatfilter wirkt. In einer ökologischen Modellierung von KRAFT et al. (2007) wird davon ausgegangen, dass viele [Pflanzen-]Gesellschaften nicht zufällige Muster der evolutionären Verwandtschaft zwischen den zusammen auftretenden Arten zeigen. Das konzentrierte Auftreten von konservierten Merkmalen in einer Pflanzengesellschaft, z. B. die physiologische Anpassung an Salzstandorte, lässt sich nach diesen Modellen nicht durch Konkurrenz, sondern nur durch die Wirkung eines starken Habitatfilters erklären.

6.3 Zusammenhang zwischen abiotischen Faktoren und Verbreitungsmuster

Eine bedeutende Rolle für die Verteilung von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* im Habitat spielten scheinbar vor allem die Salzkonzentration sowie der Wassergehalt des Bodens, da mit der Verringerung dieser Faktoren ein verstärktes Auftreten beider verbunden war. Auf den feuchten, stärker salzhaltigen Probestellen dominierte fast ausschließlich *Salicornia europaea*, während die Art auf den trockeneren, weniger salzhaltigen Stellen seltener vertreten war und dort vor allem von *Spergularia media* und *Suaeda maritima*, aber auch wenigen anderen Arten (*Aster tripolium*, *Silene pratensis*, *Hymenolobus procum-*

bens) ersetzt wurde. *Spergularia media* und *Suaeda maritima* kamen auf den Probenflächen des trockenen Habitattypes mitunter dicht beieinander und zu etwa gleichen Anteilen vor. In Anlehnung an andere Untersuchungsergebnisse besteht also ein direkter Zusammenhang zwischen dem Bodensalzgehalt und dem Auftreten von halophilen Gesellschaften und Vegetationszonen (BAKKER et al. 1985, GUL & WEBER 2001, PIERNIK 2003, ROGEL et al. 2001). Die ökologische Salztoleranz der Arten beeinflusst dabei die Strukturen in Pflanzengesellschaften entlang von Bodensalinitätsgradienten (BONIS et al. 2005). Im Vergleich zu *Salicornia europaea* (Salzzahl 9: euhalin bis hypersalin, ELLENBERG 2001) führt damit vermutlich die geringere Salztoleranz von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* (Salzzahl 8: euhalin, ELLENBERG 2001) zu deren verminderten Auftreten in der salzhaltigeren Zone, umgekehrt scheint es *Salicornia europaea* schlechter möglich zu sein, sich in den weniger salzhaltigen Bereichen aufgrund ihrer geringeren Konkurrenzkraft erfolgreich zu etablieren, was wiederum *Spergularia media* und *Suaeda maritima* gelingt. Bei gleicher Salztoleranz scheinen *Spergularia media* und *Suaeda maritima* ähnlich konkurrenzstark zu sein, so dass die Besetzung des gleichen Mikrohabitats möglich ist. Der Literatur (LEVINE et al. 1998a) folgend wird das Auftreten dieser Halophyten durch einen trade-off zwischen Stresstoleranz und Konkurrenzkraft reguliert, wobei *Spergularia media* und *Suaeda maritima* als konkurrenzkräftigere Arten entlang abiotischer Umweltgradienten die weniger stressigen Habitate dominieren und *Salicornia europaea* als schwächere Art auf die ungünstigeren Habitate ausweicht. Auch die wahrscheinlich höhere Toleranz von *Salicornia europaea* gegenüber Überflutung macht es ihr, eher als *Spergularia media* und *Suaeda maritima*, möglich, auf den ufernahen, ab und an auch überstauten Bereichen zu existieren. Entgegen der eigenen Beobachtungen stellte aber VAN ELSEN (1998) an Halden in Thüringen fest, dass *Spergularia media* und *Suaeda maritima* dort nicht gemeinsam vorkommen. Stattdessen trat *Suaeda maritima* auf kleinflächig offenen und vernässten Salzböden vergesellschaftet mit *Salicornia europaea* als vorherrschende Art auf und *Spergularia media* besiedelte die trockenen Substrate mit einer noch nicht geschlossenen Grasnarbe. Das deutet zwar darauf hin, dass neben dem Salzgehalt auch die Bodenfeuchte als wichtiger Faktor für das Verbreitungsmuster beider Arten eine Rolle spielen könnte, jedoch war bei den eigenen Vegetationsbeobachtungen der höhere Bodenwassergehalt nicht mit einem verstärkten Auftreten von *Suaeda maritima* verbunden.

Insgesamt scheinen sich *Spergularia media* und *Suaeda maritima* in den Ansprüchen an ihre abiotische Umwelt nicht besonders zu unterscheiden, so dass ein gemeinsames Vorkommen auf Salzstellen vermutlich besonders von den edaphischen Verhältnissen abhängig ist. Allerdings stellen Vegetationsaufnahmen nur eine Momentaufnahme dar. Die meisten anthropogenen Salzstellen sind als Pionierstandorte einzustufen und unterliegen damit einer hohen Floren- und Vegetationsdynamik (van ELSEN 1998). Da die Beobachtungen nur auf dieser einen Fläche an der Kali-Rückstandshalde vorgenommen wurden, weisen womöglich andere Salzstandorte auch andere Vegetationsmuster infolge anderer biotischer und abiotischer Charakteristika auf. Allgemeingültige Aussagen über die Ursachen des Verteilungsmusters von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* an Salzstandorten sind daher nur schwer möglich. Neben den untersuchten Parametern (interspezifische Konkurrenz, Bodensalzgehalt, Bodenfeuchte, pH-Wert) sind auch noch weitere Faktoren für die Musterbildung von Halophyten in Habitaten verantwortlich: positive Interaktionen (BERTNESS 1991, BERTNESS & YEH 1994), Nährstofflimitierung (LEVINE et al. 1998), Einfluss von Parasiten und Herbivoren (ELLISON 1987) und Managementmaßnahmen wie z.B. Beweidung oder Mahd (BAKKER et al. 1985).

6.4 Klassifizierung beider Arten

Bei Betrachtung der Ergebnisse des Konkurrenzversuches ergab sich ein weiterer interessanter Punkt: beide Arten wuchsen auf salzhaltigem Substrat deutlich schlechter als auf salzfreiem. Dem entgegen weisen Ergebnisse von YEO & FLOWERS (1980) zufolge *Suaeda maritima*-Pflanzen ihr optimales Wachstum unter Salzbedingungen auf und produzieren dabei deutlich mehr Biomasse als unter salzfreien Bedingungen. Bekanntermaßen ist Salz ein Stressfaktor, der das Pflanzenwachstum und den Samenertrag infolge des erhöhten Energieaufwandes für den Metabolismus negativ beeinflusst (KOYRO & EISA 2008) und ein Hauptlimitierungsfaktor in Salzhabitaten darstellt (BERTNESS & YEH 1994). In der Literatur (z.B. KISON

et al. 1986) werden *Suaeda maritima* und *Spergularia media* oft als obligate Halophyten bezeichnet. Demgegenüber steht die Einstufung von *Spergularia media* durch WEISSENBÖCK (1969) als fakultativen Halophyten. FLOWERS et al. (1977) meinen, dass hohe Salzkonzentrationen im Allgemeinen das Wachstum von Halophyten stimulieren. Ursache für die unterschiedlichen Auffassungen sind die verschiedenen zu Grunde gelegten Einteilungskriterien, die in einer Studie von BRECKLE (2000) zusammengefasst sind. KISON et al. (1986) orientieren sich einerseits an der Salztoleranz der Pflanzen nach der Einstufung von ELLENBERG (1979), andererseits an ihren eigenen vegetationskundlichen Beobachtungen. Grundlage dafür ist demnach das ökologische Verhalten der Arten. Das ökologische Optimum (Existenzbereich) einer Art muss jedoch nicht mit ihrem physiologischen Optimum (Potenzbereich) übereinstimmen, da sie durch kompetitive Wechselbeziehungen aus bestimmten Habitaten verdrängt werden kann (BARBOUR 1978, ELLENBERG 2001). Dieses Missverhältnis zwischen ökologischen und physiologischen Optimum findet man vor allem bei Arten, die in Habitaten mit ungünstigen Bedingungen vorkommen und so wachsen viele Salzwiesenpflanzen am besten auf salzfreiem Boden und sind eher fakultative als obligate Halophyten (BARBOUR 1978). WEISSENBÖCK (1969) nimmt seine Zuordnung nach physiologischen Kriterien vor. Er unterscheidet zwischen fakultativen und obligaten Halophyten anhand ihrer Fähigkeit, Natrium durch Kalium ersetzen zu können. So benötigen fakultative Halophyten für eine optimale Entwicklung kein oder kaum Natrium und können dieses durch Kalium ersetzen. Sie weisen zwar eine hohe Salztoleranz auf, wachsen aber am besten auf Gartenboden. Die optimale Entwicklung obligater Halophyten hingegen ist von einer ausreichenden Menge Natrium abhängig, welches nicht vollständig durch Kalium ersetzt werden kann. Außerdem ist eine Kultivierung auf Gartenboden kaum möglich. *Spergularia media* und *Suaeda maritima* vertragen zwar beide eine hohe Salinität, weshalb KISON et al. (1986) sie wohl auch den obligaten Halophyten zuordnet. Optimale Wachstumsbedingungen, verbunden mit einer höheren Biomasseproduktion, bieten beiden Arten aber eher salzarme oder -freie Standorte. Sowohl *Spergularia media* als auch *Suaeda maritima* sollten infolgedessen als fakultative Halophyten bezeichnet werden, da sie nach meinen Untersuchungen auf Komposterde kultivierbar sind und dort ein deutlich besseres Wachstum zeigen. Die physiologische Klassifizierung der Halophyten, wie sie von WEISSENBÖCK (1969) vorgenommen wird, scheint demzufolge sinnvoller zu sein.

7 Zusammenfassung

LANDSCHULZ, C.: Welche Interaktionen bestehen zwischen den beiden Halophyten *Spergularia media* (L.) C. PRESL und *Suaeda maritima* (L.) DUMORT. ? – *Hercynia* N.F. **42** (2009): 69–91.

Anthropogene Binnensalzstellen, welche überwiegend infolge der Kaliindustrie entstanden, gewinnen immer mehr als Lebensraum für seltene oder gefährdete Arten der sich verringernden primären Salzstellen der Küsten und des Binnenlandes an Bedeutung. Das Ziel dieser Studie war die Erforschung der Ursachen des Vegetationsmusters der beiden gefährdeten Halophyten *Spergularia media* und *Suaeda maritima*. Ihr Auftreten an der sekundären Binnensalzstelle an der Kali-Rückstandshalde in Teutschenthal-Bahnhof wurde untersucht. Dabei wurde der Vegetationsverlauf der beiden Zielarten beobachtet sowie bodenanalytische Untersuchungen vorgenommen. Aufgrund der topographischen Gegebenheiten wurde die Untersuchungsfläche in trockene salzärmere Habitate und feuchte salzhaltigere Habitate unterteilt. Bei den Bodenanalysen wurden folgende Parameter bestimmt: die Leitfähigkeit, der Bodenwassergehalt, der pH-Wert als auch die einzelnen Gehalte an Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- and CO_3^{2-} , um diese anschließend mit dem Auftreten von *Spergularia media* und *Suaeda maritima* zu vergleichen. Mit einem Konkurrenzversuch im Gewächshaus wurde zudem geprüft, inwiefern *Spergularia media* und *Suaeda maritima* miteinander interagieren. Dabei wurde durch den Einsatz zwei verschiedener Substrattypen, salzhaltig und salzfrei, die Effekte von Salz auf das Wachstum und die biotischen Wechselwirkungen zwischen beiden Arten untersucht. Die Ergebnisse des Gewächshausversuches als auch der Untersuchungen im Freiland lieferten keine eindeutigen Hinweise von interspezifischer Konkurrenz zwischen *Spergularia media* und *Suaeda maritima*. Vielmehr haben beide Arten ihre spezifische Nische gefunden, insbesondere durch die zeitliche Trennung wichtiger Lebensphasen, und damit ist eine Besetzung des gleichen Mikro-

habitats möglich. Die Verteilung der beiden Arten innerhalb von Salzpflanzengemeinschaften an Binnen-salzstellen steht vor allem mit dem Salz- und Wassergehalt des Bodens in einem engen Zusammenhang. Interessanterweise wuchsen *Spergularia media* und *Suaeda maritima* bei dem Konkurrenzversuch auf salzfreier Komposterde erheblich besser als auf salzhaltigem Substrat, obgleich beide Arten in der Literatur oft als obligate Halophyten bezeichnet werden. Diese widersprüchliche Klassifizierung macht auf den Bedarf an der Formulierung einheitlicher Kriterien für die Zuordnung von Halophyten zu den Typen „fakultativ“ und „obligat“ aufmerksam.

8 Danksagung

Zum Schluss möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben: Frau Prof. Dr. I. Hensen für die Bereitstellung dieses interessanten Themas; Frau Dr. M. Partzsch und Herrn PD. Dr. K. Wesche für ihre Hilfe insbesondere bei der statistischen Auswertung; Frau Kathleen Prinz als `Halophytenexpertin` gab den ein oder anderen Denkanstoß; Frau E. Bremer für ihre liebevolle Begleitung des Gewächshausversuches; Frau C. Voigt für ihre fürsorgliche Unterstützung über die gesamte Forschungsdauer hinweg; Frau Dr. H. Heklau stand stets bei Fragen und Problemen zur Verfügung, insbesondere die Holzanatomie betreffend. Außerdem möchte ich mich bei den beiden Gutachtern bedanken, die sich diesen Artikel annahmen.

9 Literatur

- BAKKER, J.P.; DIJKSTRA, M.; RUSSCHEN, P.T. (1985): Dispersal, germination and early establishment of halophytes and glycophytes on a grazed and abandoned salt-marsh gradient. – *New Phytologist* **101**: 291-308.
- BARBOUR, M.G. (1978): The effect of competition and salinity on the growth of a salt marsh plant species. – *Oecologia* **37**: 93-99.
- BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. (1998): *Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination.* – Academic Press. San Diego.
- BERTNESS, M.D. (1991): Interspecific interactions among high marsh perennials in a New England salt marsh. – *Ecol.* **72/1**: 125-137.
- BERTNESS, M.D.; YEH, S.M. (1994): Cooperative and competitive interactions in the recruitment of marsh elders. – *Ecol.* **75/8**: 2416-2429.
- BONIS, A.; BOUZILLÉ, J.-B.; AMIAUD, B.; LOUCOUGARAY, G. (2005): Plant community patterns in old embanked grasslands and the survival of halophytic flora. – *Flora* **200**: 74-87.
- BRECKLE, S.-W. (2000): Wann ist eine Pflanze ein Halophyt? Untersuchungen an Salzpflanzen in Zentralasien und anderen Salzwüsten. In: *Ergebnisse weltweiter ökologischer Forschung.* – Verlag Günther Heimbach. Stuttgart.
- CHAPMAN, V.J. (1947): *Suaeda maritima* (L.) Dum. – *J. Ecol.* **35**: 293-302.
- CHAPMAN, V.J. (1960): Salt Marshes and Salt Deserts of the World. – *J. Ecol.* **49**: 220-222.
- DE WIT, C.T. (1960): On competition. – *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen* **66**: 1-82.
- DÖRING, J.; BORG, H. (2008): Ist das Klima von Halle (Saale) noch „normal“? Betrachtungen anhand der Temperatur- und Niederschlagsreihe von 1851 bis heute. – *Hercynia N.F.* **41**: 3 – 21.
- ECKSTEIN, R.L. (2005): Differential effects of interspecific interactions and wateravailability on survival, growth and fecundity of three congeneric grassland herbs. – *New Phytologist* **166**: 525-536.
- ELLENBERG, H. (1979): *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas.* 2., verbesserte und erweiterte Auflage. – Verlag Erich Goltze GmbH & Co KG. Göttingen.
- ELLENBERG, H. (2001): *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa.* 3., durchgesehene Auflage. – Verlag Erich Goltze GmbH & Co KG. Göttingen.
- ELLISON, A.M. (1987): Effects of competition, disturbance and herbivory on *Salicornia europaea*. – *Ecol.* **68**: 576-586.
- FLOWERS, T.J.; TROKE, P.F.; YEO, A.R. (1977): The mechanism of salt tolerance in halophytes. – *Ann. Rev. Plant Physiology* **28**: 89-121.
- GARCKE, A. (1848): *Flora von Halle mit näherer Berücksichtigung der Umgegend.* Erster Teil. Eduard Anton. – Halle.
- GERLACH, D. (1984): *Botanische Mikrotechnik.* 3., unveränderte Auflage. – Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- GRACE, J.B.; TILMAN, D. (1990): *Perspectives on plant competition.* – Academic Press, Inc. San Diego.

- GUL, B.; WEBER, D.J. (2001): Seed bank dynamics in a Great Basin salt playa. – *J. Arid Environ.* **49**: 785-794.
- HEGI, G. (1979): *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Band III Angiospermae Dicotyledones 1. Teil 2. 2. völlig neu bearbeitete Auflage. – Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- HUBER-SANNWALD, E. (2001): Konkurrenzverhältnisse und Konkurrenzverhalten von Pflanzen im Dauergrünland. 7. Alpenländisches Expertenforum, – BAL Gumpenstein. Irdning.
- HUCKLE, J.M.; POTTER, J.A.; MARRS, R.H. (2000): Influence of environmental factors on the growth and interactions between salt marsh plants: effects of salinity, sediment and waterlogging. – *J. Ecol.* **88**: 492-505.
- JÄGER, E. J.; WERNER, K. (Hrsg.) (2005): *Exkursionsflora von Deutschland*, begründet von W. ROTHMALER. Bd. 4. Gefäßpflanzen: Kritischer Band. – Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, München.
- JOHN H. (2000): Zur Ausbreitung von Halophyten und salztoleranten Pflanzen in der Umgebung von Kali-Rückstandshalden am Beispiel des FND "Salzstelle bei Teutschenthal-Bahnhof" (Saalkreis). – *Mitt. Flor. Kart. Sachsen-Anh. (Halle)* **5**: 175-197.
- JOHN, H.; ZENKER, E. (1996): Funde und Beobachtungen von höheren Pflanzen im südlichen Sachsen-Anhalt. – *Mitt. Flor. Kart. Sachsen-Anh. (Halle)* **1**: 49-57.
- KHAN, M.A.; UNGAR, I.A. (1984): The Effect of Salinity and Temperature on the Germination of Polymorphic Seeds and Growth of *Atriplex triangularis* Willd. – *Am. J. Botany* **71**: 481-489.
- KHAN, M. A.; UNGAR, I.A. (1996a): Influence of Salinity and Temperature on the Germination of *Haloxylon recurvum* Bunge ex. Boiss. – *Annals of Botany* **78**: 547-551.
- KISON, H.-U.; FRITZSCHE, H.; BANK, Ch. (1986): Veränderung der Salzpflanzenstandorte bei Staßfurt. – *Mitt. Flor. Kart. (Halle)* **12**: 68-79.
- KORNECK, D.; SCHNITTLER, M.; VOLLMER, I (1996): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) Deutschlands. – *Schr.R. f. Veg.kunde* **28**: 21-187.
- KOYRO, H.-W.; EISA, S.S. (2008): Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. – *Plant Soil* **302**: 79-90.
- KRAFT, N.J.B; CORNWELL, W.K.; WEBB, C.O., ACKERLY, D.D. (2007): Trait evolution, community assembly, and the phylogenetic structure of ecological communities. – *The Amer. Nat.* **170**: 271-283.
- KUNTZE, H.; ROESCHMANN, G.; SCHWERDTFEGER, G. (1994): *Bodenkunde*. 5. Auflage. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- LEIBNITZ-INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE (Hrsg.) (2003): *Bundesrepublik Deutschland Nationalatlas: Klima, Pflanzen- und Tierwelt*. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- LENZ, L.; WIEDERSICH, B. (1993): *Grundlagen der Geologie und Landschaftsformen: mit 30 Tabellen*. 1. Auflage. – Deut. Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig.
- LEVINE, J.; BREWER, J.S.; BERTNESS, M.D. (1998): Nutrients, competition and plant zonation in a New England salt marsh. – *J. Ecol.* **86**: 285-292.
- LEYER, I.; WESCHE, K. (2007): *Multivariate Statistik in der Ökologie. Eine Einführung*. – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- LONDO, G. (1975): Dezimalskala für die vegetationskundliche Aufnahme von Dauerquadraten. – In: SCHMIDT, W. (Red.): *Sukzessionsforschung*. Ber. Internationalen Symp. Internat. Vereinigung f. Veg.kunde **17**, Rinteln 1973: 613-617. – Cramer, Vaduz.
- MARKHAM, J.H.; CHANWAY, C.P. (1996): Measuring plant neighbour effects. – *Funct. Ecol.* **10**: 548-549.
- MÖLLER, S. (2005): *Speziation und Biogeographie von Suaeda-Arten an europäischen Küsten*. – Dipl.arb. Univ. Kassel.
- PENNINGS, S.C.; CALLAWAY, R.M. (1992): Salt marsh plant zonation: The relative importance of competition and physical factors. – *Ecol.* **73**: 681-690.
- PIERNIK, A. (2003): Inland halophilous vegetation as indicator of soil salinity. – *Basic and Appl. Ecol.* **4**: 525-536.
- PRINZ, K. (2005): *Besiedlung und Bedeutung anthropogener Binnensalzstellen: Molekulare, biologische und ökologische Untersuchungen am Beispiel Suaeda maritima (L.) Dum.* – Dipl.arb. Univ. Halle-Wittenberg.
- ROGEL, J.Á.; SILLA, R.O.; ALCARAZ ARIZA, F. (2001): Edaphic characterization and soil ionic composition influencing plant zonation in a semiarid Mediterranean salt marsh. – *Geoderma* **99**: 81-98.
- SCHAEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 15. Aufl. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. Berlin.
- SCHLICHTING, E.; BLUME, H.-P.; STARK, K. (1995): *Bodenkundliches Praktikum*. 2.Aufl.. – Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.
- SPRENGEL, C. (1832): *Flora Halensis*. Ed. Secunda. – Halae. (In Halle).
- TESSIER, M.; GLOAQUEN, J.C.; LEFEUVRE, J.C. (2000): Factors affecting the population dynamics of *Suaeda maritima* at initial stages of development. – *Plant Ecol.* **147**: 193-203.
- THOMPSON, K.; BAKKER, J.P.; BEKKER, R.M. (1997): *The soil seed banks of North West Europe: methodology, density and longevity*. – University Press. Cambridge.
- TIMSON, J. (1965): New method of recording germination data. – *Nature* **207**: 216-217.

- UNGAR, I.A.; BINET, P. (1975): Factors influencing seed dormancy in *Spergularia media* (L.) C. Presl. – Aquatic Botany **1**: 45-55.
- VAN ELSÉN, T. (1998): Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf die salzbeeinflusste Vegetation an Rückstandshalden der Kali-Industrie. – In: BRANDES, D. (Hrsg.) (1999): Vegetation salzbeeinflusster Habitats im Binnenland. – Braunschweiger Geobot. Arb., Band 6. Braunschweig.
- WALLROTH, F.G. (1822): Schedule criticae de plantis florum halensis selectis. – Halae. (In Halle).
- WEISSENBOCK, G. (1969): Einfluß des Bodensalzgehaltes auf Morphologie und Ionenspeicherung von Halophyten. – Flora Abteilung B **158**: 369-389.
- WESTHUS, W.; FRITZLAR, F.; PUSCH, J.; van ELSÉN, T.; ANDRES, C.; GROSSMANN, M.; PFUTZENREUTER, S.; SPARMBERG, H.; BARTHEL, K.-J. (1997): Binnensalzstellen in Thüringen – Situationen, Gefährdung und Schutz. – Naturschutzreport 12. Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Jena.
- WOLTERS, M.; GARBUTT, A.; BAKKER, J.P. (2005): Plant colonization after managed realignment: the relative importance of diaspore dispersal. – J. Appl. Ecol. **42**: 770-777.
- YEO, A.R.; FLOWERS, F.J. (1980): Salt tolerance in the halophyte *Suaeda maritima* L. Dum.: Evaluation of the effect of salinity upon growth. – J. Exp. Bot. **31**: 1171-1183.

Manuskript angenommen: 2. Juni 2009

Anschrift der Autorin:

Dipl.-Biologin Catharina Landschulz, Richard-Wagner-Strasse 52, 06114 Halle
e-mail: 4catharina@web.de

RÜTHER, P. (2008): Frühblüher. – Die Neue Brehm-Bücherei Bd. 661, Westarp Wissenschaften-Verlags GmbH, Hohenwarsleben, 136 S. – ISBN 978-3-89432-916-7. Preis 24,95 Euro.

Nach langer Zeit ist in der Neuen Brehm-Bücherei wieder ein neuer botanischer Titel – Frühblüher – erschienen, und es verwundert fast, dass diesem Thema nicht bereits viel eher ein eigener Band gewidmet wurde, denn gerade die Frühblüher sind es, die nach langer Zeit „botanischer Enthaltsamkeit“ im Winter immer wieder die besondere Aufmerksamkeit nicht nur der Botaniker erwecken.

Frühblüher sind auf Regionen mit thermischem Jahreszeitenklima begrenzt, und unter Frühblühern werden im Allgemeinen Arten verstanden, die dank unterschiedlicher Speicherorgane bereits zeitig im Jahr erscheinen und mit der Belaubung der Bäume ihre generative Reproduktion weitgehend abgeschlossen haben. Unter diesem Blickwinkel geben die ersten fünf Kapitel des Buches einen Überblick über klimatische, phänologische und morphologische Aspekte in Bezug auf die Frühblüher. Eingangs wird ein kurzer Abriss über die Klimazonen der Erde gegeben, an den sich eine knappe Darstellung über den mitteleuropäischen Laubwald sowie ein sehr allgemeines und kurzes Kapitel über den Ablauf der Jahreszeiten darin anschließen. Hierauf folgt ein Überblick über die unterschiedlichen Lebensformen im allgemeinen und die Eigenschaften und Lebensbedingungen von Frühblühern im speziellen. Für die den Hemikryptophyten angehörenden „Schaftpflanzen“, sollte jedoch ein anderer Begriff, z. B. aufrechtwüchsige, rosettenlose Pflanzen, verwendet werden, da der Terminus „Schaft“ anderweit definiert ist und einen blattlosen Sprossabschnitt (allenfalls mit Schuppenblättern) zwischen Blattrosette und Blüte(nstand) bezeichnet. Ein weiteres Kapitel behandelt die Grundorgane der Samenpflanzen. Anschließend wird auf die Speicherorgane der Frühblüher eingegangen. Im Hauptteil werden 43 Arten aus 22 Familien näher vorgestellt, und zwar vor allem hinsichtlich generativer und vegetativer Merkmale, Standortansprüchen und Verbreitung, Etymologie der Namen und Verwendungsmöglichkeiten. Illustriert sind die Beschreibungen durch morphologische Zeichnungen aus verschiedenen Arbeiten von TROLL und einen sich anschließenden Tafelteil mit zahlreichen, ganz überwiegend instruktiven Farbfotos. Auf Tafel 9 ist allerdings statt *Alliaria petiolata* fälschlich *Galanthus nivalis* abgebildet. Das folgende Kapitel über einjährige frühblühende Arten ist in der vorliegenden Form entbehrlich, da es den Laien allenfalls über deren Existenz informiert, jedoch wird dieser, vielleicht abgesehen von *Capsella bursa-pastoris*, mangels Abbildungen kaum eine Vorstellung von den lediglich vier weiteren genannten, eher unscheinbaren Vertretern bekommen, die knapp hinsichtlich Blütezeit, Standort und Merkmalen charakterisiert sind. *Capsella* ist zudem eine diesbezüglich unpassend gewählte Art, da sie keine Frühjahrsphemere i.e.S. ist, sondern das ganze Jahr über blühen kann. Hier wären u. a. diverse *Veronica*- und *Cerastium*-Arten, *Spergula morisonii* sowie *Saxifraga tridactylites* einschließlich Abbildungen zu ergänzen.

Kurze Kapitel zur Verwendung von Frühblühern im Garten, deren Bedeutung als Heilpflanzen, zur Pflanzensymbolik und zum Artenschutz sowie das Literaturverzeichnis schließen sich an.

Das Buch wird sicher den Blick für die Mannigfaltigkeit und die Besonderheiten innerhalb einer phänologischen Artengruppe schärfen und ist vor allem interessierten Laien zu empfehlen, allerdings wird der Preis als deutlich zu hoch erachtet.

Anselm KRUMBIEGEL, Halle (Saale)