

Die Schöne und das Biest – Differentielle Salztoleranz als eine mögliche Ursache evolutionären Erfolgs der sympatrischen *Rosa rugosa* Thunb. und *Rosa mollis* Sm.

– Jens Föller, Alexandra Kellner & Volker Wissemann –

Kurzfassung

Die einzig flächendeckende Population von *Rosa mollis* Sm. in Deutschland befindet sich im Naturschutzgebiet Geltinger Birk und wird durch den invasiv einwandernden Neophyt *Rosa rugosa* Thunb. bedroht. Ziel unserer Arbeit war es, mithilfe eines Gießexperimentes mit künstlichem Meerwasser herauszufinden, inwieweit eine mögliche differentielle Salztoleranz von *R. mollis* gegenüber *R. rugosa* existiert. Diese mögliche Salztoleranz könnte ein Grund für einen unterschiedlichen evolutionären Erfolg in einem gemeinsamen Verbreitungsgebiet sein. In einem Gießexperiment wurden die Pflanzen unter Salzstress gesetzt. Zur genaueren Untersuchung wurden Ionengehalte der Blätter sowie Photosyntheseparameter als Kenngrößen herangezogen. Bemerkenswerterweise schafft es *R. rugosa* im Gegensatz zu *R. mollis*, das Salz aus den Blättern fernzuhalten, und ist somit in der Lage, die Photosynthese auch noch bei hohen Salzkonzentrationen aufrecht zu halten. Diese Fähigkeit ermöglicht *R. rugosa* eine höhere vegetative Fitness durch eine längere Vegetationszeit.

Abstract: The beauty and the beast – Differential salt tolerance as a putative reason for evolutionary success of sympatric *Rosa rugosa* Thunb. and *Rosa mollis* Sm.

The only area-wide population of *Rosa mollis* Sm. in Germany in the nature reserve Geltinger Birk is endangered by the invasive neophyte *R. rugosa* Thunb. The aim of our study was to find out if differential salt tolerance between *R. mollis* and *R. rugosa* might be one possible reason for divergent evolutionary success in a shared area of dispersal. The study is based on the measurements of the containing ions in the leaves via ion chromatography as well as the measurement of photosynthetic parameters. Remarkably, *R. rugosa* is – in contrast to *R. mollis* – able to keep the salt outside the leaves, allowing for active photosynthesis even at high salt concentrations. This ability might favour the vegetative fitness of *R. rugosa* by a longer vegetation period.

Keywords: Geltinger Birk, neophyte, salinisation experiment, replanting, invasive plants, hybridization

Nomenklatur: WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998)

1 Einleitung

Das auf einer Halbinsel gelegene Naturschutzgebiet Geltinger Birk am Ausgang der Flensburger Förde zur freien Ostsee, Schleswig Holstein, stellt für die Gattung *Rosa* einen bedeutenden Standort in Norddeutschland dar (EIGNER 1993). Auf dem Strandwallsystem konnte sich eine artenreiche Rosenflora mit zahlreichen Vertretern aus vielen Subsektionen der Sektion *Caninae* (Dc.) SER. etablieren. Besonders schützenswert macht dieses Gebiet eines der seltenen Vorkommen von *Rosa mollis* Sm. (Weiche Rose, Sekt. *Caninae*, Subsekt. *Vestitae* H. Christ) in Deutschland. Diese Art ist eine typische Pflanze auf Strandwällen, Graudünen und Deichen Skandinaviens, Dänemarks und der Britischen Inseln (HENKER 2000) und erreicht auf der Geltinger Birk ihre südliche Verbreitungsgrenze. Wenige Individuen der Weichen Rose wurden noch auf Rügen, Hiddensee (KURTTO et al. 2004) und Fehmarn (ROMAHN 2010) gefunden. Die Population im NSG Geltinger Birk wird durch den invasiv einwandernden Neophyten *Rosa rugosa* Thunb. (Kartoffel-Rose, Sekt. *Rosa* [*Cinnamomeae*] (Dc.) Ser.) gefährdet. Die Kartoffel-Rose wurde um 1845 in Deutschland eingeführt und aufgrund ihrer geringen Standortansprüche und der Fähigkeit Ausläufer zu bilden vor allem zur Dünenstabilisierung kultiviert (BRUUN 2005; KOWARIK 2003). Ihre ursprüngliche Heimat sind die Küstenregionen Nordostasiens. Diese von ihr gepräg-

ten Strauchzonen entsprechen sowohl in ihrer Vegetationsstruktur als auch in ihrer taxonomischen Zusammensetzung weitestgehend den europäischen Dünengemeinschaften (OHBA et al. 1973). In Europa konnte sich *R. rugosa* an allen Küsten etablieren und breitet sich mithilfe von Ausläufern und hoher Saatgutproduktion rasant aus. *Rosa rugosa* blüht von Mai bis weit in den Herbst hinein, während *R. mollis* nur eine sehr kurze reproduktive Phase von Juni bis Juli hat (JÄGER 2011). Auf Grund des enormen Pollendrucks in dieser Zeit und der hohen Individuendichte von *R. rugosa* besteht die Gefahr, dass *R. mollis* von dieser verdrängt werden könnte. Erschwerend kommt hinzu, dass die Population der Weichen Rose auf dem eng begrenzten Küstenhabitat des NSG isoliert ist von anderen Populationen.

Neben der räumlichen Verdrängung wirkt sich auf der Geltinger Birk der Umstand der Hybridisierung beider Arten möglicherweise beschleunigend auf den Rückgang von *R. mollis* aus. 1999 wurde von EIGNER & WISSEMAN der Hybrid *R. × mangii* beschrieben, eine intersektionelle Hybride zwischen *R. rugosa* und *R. mollis*. KELLNER et al. (unpublizierte Daten) konnten aufgrund von morphologischen und genetischen Analysen zeigen, dass es vorwiegend zu Einkreuzungen von *R. rugosa* in die Population der Weichen Rose kommt und 2/3 der untersuchten Individuen betroffen waren.

Da beide Arten natürlicherweise an salzbeeinflussten Küsten vorkommen, stellt sich die Frage, ob neben Ausläuferbildung und Pollendruck andere Selektionsfaktoren entscheidend für die Populationsentwicklung sein können, d. h., ob die Dominanz der Kartoffel-Rose eventuell auch auf eine effektivere Anpassung an den Standort zurückzuführen sein könnte. Salz als Standortfaktor mit hohem Selektionsdruck ist seit langem bekannt und Gegenstand intensiver Forschung (AHMAD et al. 2010; LEXER et al. 2003; SIDDIQUI et al. 2009). Pflanzen müssen Salz aufnehmen um den osmotischen Druck aufrecht zu erhalten, der für die Aufnahme von Wasser notwendig ist. Steigt der Salzgehalt aber über einen kritischen Punkt, kehrt sich der Effekt um und die Pflanze gerät unter Wasserstress (MUNNS 2002). Der Turgor in den Zellen nimmt ab und die Pflanze ist nicht mehr in der Lage Wasser aufzunehmen. Infolge dessen kommt es zu einem Rückgang der Wachstumsrate bis hin zum Absterben der Pflanze. Für Rosen ist Salz als Standortfaktor weitgehend nicht untersucht. Man geht davon aus, dass Nicht-Halophyten entweder das Salz erst gar nicht aufnehmen oder im Gewebe akkumulieren und unschädlich machen (MUNNS & TESTER 2008). Der genaue Mechanismus, wie Rosen mit Salz umgehen, ist bis jetzt jedoch unbekannt. Die meisten Untersuchungen zur Salzresistenz wurden an Kulturrosen durchgeführt (CABRERA & PERDOMO 2003; JIMENEZ et al. 1997; KHATTAB 2005; NIU & RODRIGUEZ 2008; NIU et al. 2008; WAHOME et al. 2000, 2001); vergleichbare Studien an Wildrosen fehlen. WAHOME (1999) und KHATTAB (2005) konnten aber an *R. rugosa* und *R. rubiginosa* L. zeigen, dass beide Arten Natrium- (Na^+) und Chlorid-Ionen (Cl^-) in den Wurzeln akkumulieren, während in den Ästen und Blättern die Konzentration der Ionen nicht wesentlich ansteigt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wollten wir mithilfe eines Experimentalansatzes (Gießexperiment mit künstlichem Meerwasser) herausfinden, ob die Ergebnisse zu *R. rugosa* bestätigt werden können und wie insbesondere *R. mollis* auf steigende Salzkonzentrationen im Detail reagiert. Gibt es grundlegende Unterschiede zwischen den beiden Arten im Umgang mit Salz? Können die Ergebnisse einen weiteren Hinweis darauf liefern, warum die invasive *R. rugosa* im Gegensatz zur heimischen *R. mollis* so dominierend auf den Strandwällen des NSG Geltinger Birk und anderer vergleichbarer Küstenabschnitte ist?

2 Material und Methoden

Für das Gießexperiment mit künstlichem Meerwasser wurden pro Art und Konzentration je 15 einjährige Sämlinge im gleichen Stadium der Entwicklung verwendet. *R. mollis* wurde aus Saatgut aus dem NSG Geltinger Birk gezogen, während *R. rugosa* von „Bunk Pflanzen“ (Elmshorn,

Schleswig-Holstein) bezogen wurde. Alle Pflanzen wurden in eine 2:1-Mischung aus Torf (TKS 2; Floragard GmbH, Oldenburg) und Sand in Töpfe gepflanzt und im Verlaufe des Experiments im IFZ-Gewächshaus der Universität Gießen kultiviert. Es wurden sechs verschiedene Konzentrationen (0 mM als Kontrolle, 10 mM, 40 mM, 70 mM, 100 mM und 150 mM) von künstlichem Meerwasser (DIN EN ISO 10253) mit destilliertem Wasser angesetzt. Alle Konzentrationen wurden für das enthaltene NaCl berechnet (Tab. 1), während das Mischungsverhältnis für alle anderen enthaltenen Salze gemäß DIN-Norm eingehalten wurde. Anschließend wurde die Osmolarität der wässrigen Lösungen mit einem Kryosmometer bestimmt (Osmomat 030, Gonotec, Berlin) (Tab. 2).

Tab. 1: Übersicht über die eingesetzten Salze für das künstlich hergestellte Meerwasser (DIN EN ISO 10253).

Bezeichnung	Chemische Formel	Konzentration im künstlichen Meerwasser [g/L]
Natriumchlorid	NaCl	22.00
Magnesiumchlorid-Hexahydrat	MgCl ₂ × 6 H ₂ O	9.70
Natriumsulfat (wasserfrei)	Na ₂ SO ₄	3.70
Calciumchlorid (wasserfrei)	CaCl	1.00
Kaliumchlorid	KCl	0.65
Natriumhydrogencarbonat	NaHCO ₃	0.20
Salze der Borsäure	H ₃ BO ₃	0.02

Tab. 2: Osmolaritäten der verschiedenen Konzentrationen des künstlichen Meerwassers.

Konzentration des künstlichen Meerwasser	0 mM	10 mM	40 mM	70 mM	100 mM	150 mM
Osmolarität [mosm/L]	0.0	20.4	84.0	144.0	214.8	352.8

Die Pflanzen wurden alle 10 Tage mit der gleichen Konzentration des künstlichen Meerwassers im Anstau bewässert. Pro Art ergaben sich somit 90 Pflanzen (= 6 verschiedene Konzentrationen für je 15 Pflanzen). Die Versuchsdauer betrug 10 Wochen. In diesem Experiment wurden nur der Boden bzw. die Wurzeln mit Salz bewässert. Man muss aber anmerken, dass unter natürlichen Bedingungen die Blätter auch durch Gischt dem Salz ausgesetzt sind.

Anschließend wurden die Photosyntheserate [$\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$], die Transpirationsrate [$\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2\text{s}$] und die stomatäre Leitfähigkeit [$\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2\text{s}$] mit dem tragbaren Photosynthesesystem LiCor 6400 (Bad Homburg) gemessen. Der Vorteil des verwendeten Geräts liegt darin, dass die Messungen an intakten Pflanzen direkt im Gewächshaus durchgeführt werden konnten. Es wurden Blätter in eine kleine Messkammer am Gerät eingeklemmt. Die Bedingungen in der Messkammer entsprachen den Umgebungsbedingungen: Licht ca. $100 \mu\text{mol Quanten m}^{-2}\text{s}^{-1}$, CO_2 -Stoffmengenanteil ca. $380 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$. Wassernutzungseffizienzzraten [$\mu\text{mol}/\text{mmol}$] wurden als Quotient von Photosynthese- und Transpirationsraten errechnet.

Die Kationenanalyse wurde mit 200 mg Blattmaterial durchgeführt, welches über Nacht bei 520 C verascht wurde. Die Asche wurde anschließend in 2 ml 4 M HNO₃ gelöst. Die Suspension wurde mit destilliertem Wasser auf 10 ml aufgefüllt und im Anschluss gefiltert. Die Kationenkonzentration im Filtrat wurde mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrometrie (S series AA Spectrometer, Thermo Scientific, Schwerte) ermittelt.

Die Anionenanalyse wurde mit 30 mg getrocknetem Pflanzenmaterial durchgeführt. Das Blattmaterial wurde in 1.6 ml deionisiertem Wasser 5 min zum Sieden erhitzt. Die abgekühlten Pro-

ben wurden zentrifugiert, und der Überstand wurde aufgefangen. Anschließend wurden die Proben mit Chloroform gewaschen und über eine Extraktionssäule (Bakerbond™ spe Octadecyl (C₁₈)) gefiltert. Abschließend wurden die Anionenkonzentrationen mit einem Dionex DX-300 Ionenchromatograph (Germering) analysiert.

Um die Konzentration der in der Blattmasse enthaltenen Zucker zu untersuchen, wurde Blattmaterial in flüssigem Stickstoff gefroren. Etwa 100–180 mg gefrorene Blattmasse wurde in 2 ml Eppendorf-Gefäßen mit 0.025 g Polyclar und 1 ml kaltem Wasser gegeben. Um die Enzymaktivität zu stoppen, wurden die Proben 10 min in siedendes Wasser gegeben und anschließend bei Raumtemperatur 1 h geschüttelt. Nach dem Zentrifugieren (10 min bei 10000 rpm) wurde der Überstand gesammelt, während das Pellet in 0.75 ml destilliertem Wasser resuspendiert und nochmals geschüttelt und zentrifugiert wurde. Alle Proben wurden individuell verdünnt, und ein Aliquote von 0.6 ml wurde mittels HPLC (High-pressure liquid chromatography; HPAE-PAD installiert in einem Dionex DX-500 System) mit einer CarboPac® PA200 Trennsäule analysiert.

Zusätzlich zu diesen Analysemethoden wurden alle Pflanzen nach Erscheinen der ersten Schadsymptome alle fünf Tage auf Schäden untersucht. Die Anzahl an Pflanzen mit typischen, durch Salzstress hervorgerufenen Nekrosen an den Blatträndern und/oder abgestorbenen Pflanzen(teilen) wurden notiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Gießexperiment mit künstlichem Meerwasser

Ein deutlicher Hinweis auf Wasserstress ist das Einrollen der Blätter, bis hin zum Welken. Während die Nullkontrolle keinerlei Schäden aufwies, konnten die ersten Schäden an Blättern von *R. mollis* nach der dritten Salzgabe beobachtet werden. Nach Behandlung mit 70 mM Meerwasser bildeten sich vom Blattrand ausgehend Nekrosen und Chlorosen aus (Abb. 1A). Bei *R. rugosa* zeigten sich – im Gegensatz dazu – die ersten typischen Schadmerkmale erst nach Behandlung mit der 100 mM Meerwasserlösung (Abb. 1A). Die ersten abgestorbenen Pflanzen zeigte *R. mollis* ebenfalls ab dem 70-mM-Ansatz, *R. rugosa* dagegen wiederum erst im 100-mM-Ansatz. Am Ende des Experimentes zeigten drei Pflanzen von *R. mollis* Nekrosen, neun waren bis dahin bereits abgestorben (Abb. 1B, C). *Rosa rugosa* wies sieben nekrotische Pflanzen auf, nur eine Pflanze war abgestorben (Abb. 1B, C). Die Analyse der (Blatt-)Schäden verdeutlichte, dass *R. rugosa* toleranter gegenüber steigender Salzkonzentration war, auch wenn sie mit zunehmender Salzkonzentration ebenfalls Schäden zeigte.

Die Messungen der Photosynthese- und Transpirationsrate, der stomatären Leitfähigkeit sowie der Wassernutzungseffizienz zeigten, dass beide Arten mit steigender Salzkonzentration unter Wasserstress geraten. *Rosa rugosa* konnte aber ihren Photosynthese-Stoffwechsel selbst im 150-mM-Ansatz noch aufrecht erhalten, während *R. mollis* diesen ab dem 100-mM-Ansatz einstellte. Im Detail stellte sich das wie folgt dar (Abb. 2): Die Photosyntheseraten von *R. mollis* tendierten ab dem 100- mM-Ansatz gegen null, während die Raten bei *R. rugosa* selbst im 150-mM-Ansatz nicht auf null abfielen (Abb. 2A). Die stomatäre Leitfähigkeit und die Transpirationsraten nahmen bei beiden Arten mit steigender Salinität ab, auch wenn *R. rugosa* ein Zwischenhoch bei 40 mM und *R. mollis* bei 70 mM zeigte. Im höchstkonzentrierten Ansatz erreichte *R. rugosa* höhere Werte als *R. mollis* (Abb. 2B, C). Die errechneten Werte der Wassernutzungseffizienz von *R. mollis* tendierten ebenfalls ab dem 100-mM-Ansatz gegen Null und unterschritten den Nullwert im 150-mM-Ansatz deutlich (Abb. 2D). *Rosa rugosa* zeigte dagegen keinen negativen Wert (Abb. 2D). *Rosa mollis* zeigte bei allen vier Analysen zu Beginn immer einen Anstieg der Werte bis zum 70-mM-Ansatz; anschließend fielen diese stark ab (Abb. 2A–D). Ein ähnliches Muster konnte bei *R. rugosa* beobachtet werden: Die Werte der Photosyntheserate, der stomatären Leit-

fähigkeit und der Transpirationsrate stiegen bis zum 40-mM-Ansatz an und fielen dann ebenfalls ab (Abb. 2A–C).



Abb. 1: Beobachtete Pflanzenschäden an *R. mollis* und *R. rugosa* nach Gießexperiment mit künstlichem Meerwasser. A zeigt typische Blattnekrosen bei *R. mollis* (links, 70 mM) und *R. rugosa* (rechts, 100 mM); B zeigt exemplarisch die Verfassung von *R. mollis* (links) und *R. rugosa* (rechts) nach 150 mM Salzgabe; C zeigt eine Übersicht über den Zustand von *R. mollis* (links) und *R. rugosa* (rechts) zu Beginn (oben) und am Ende (unten) des Experiments.

Die Menge an enthaltenem Na^+ und Cl^- in den Blättern erhöhte sich bei beiden Arten kontinuierlich mit steigender Salinität (Abb. 2E). Allerdings erreichte *R. mollis* im 150-mM-Ansatz im Vergleich zu *R. rugosa* einen drei Mal höheren Wert für Na^+ und einen zwei Mal höheren Wert für Cl^- . Insgesamt reicherte sich bei beiden Arten mehr Chlorid als Natrium an, da diese Ionen schneller transportiert werden (GREENWAY & MUNNS 1980). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass *R. mollis* das Salz aufnahm, während *R. rugosa* einen Mechanismus besitzen muss, der das Salz außerhalb der Pflanze hielt bzw. es innerhalb der Pflanze unschädlich machte oder in anderen Pflanzenteilen einlagerte.

Während sich die Menge der in der Blattmasse enthaltenen Zucker (Fruktose, Glukose und Saccharose) in den geringer konzentrierten Ansätzen über den Versuchszeitraum kaum veränderte (Abb. 2F), stieg sie bei Behandlung mit 150 mM Meerwasser bei *R. mollis* sprunghaft an. *Rosa rugosa* dagegen zeigte einen anderen Verlauf. Grundsätzlich zeigte sie einen höheren Grundgehalt an Fruktose und Glukose als *R. mollis*. Ausgehend von der Kontrolle stiegen die Gehalte aller Zucker bis zum 40-mM-Ansatz. Ab dem 70-mM-Ansatz fielen die Werte für Fruktose und Glukose ab, während die Werte für Saccharose weiter anstiegen und ihren höchsten Wert im 150-mM-Ansatz erreichten.

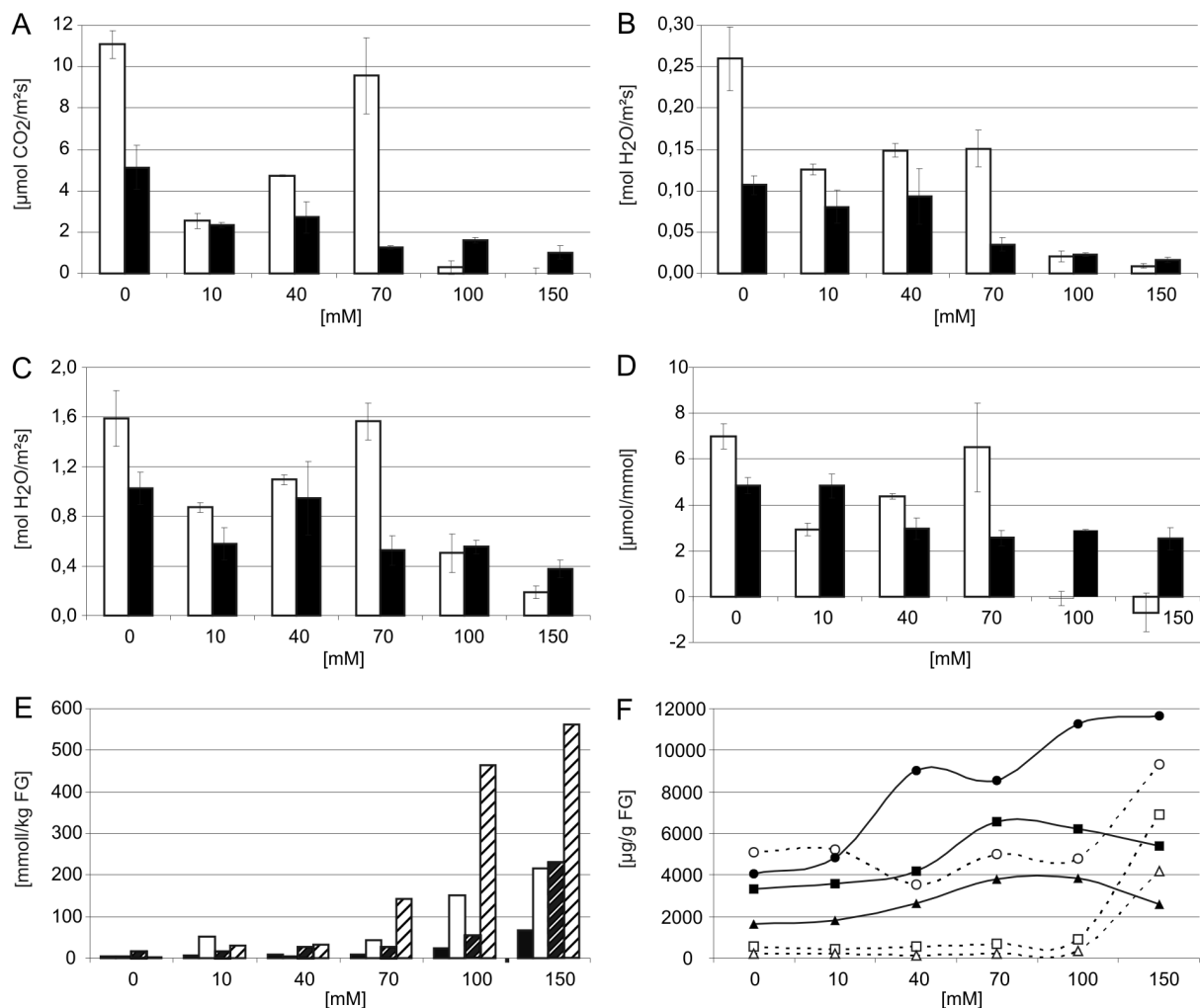


Abb. 2: Graphische Darstellung der Ergebnisse des Gießexperiments mit künstlichem Meerwasser von *R. mollis* (weiße Balken) und *R. rugosa* (schwarze Balken). A: Vergleich der Photosyntheseraten; B: Vergleich der stomatären Leitfähigkeit; C: Vergleich der Transpirationsraten; D: Vergleich der Wassernutzungseffizienz; E: Vergleich der Analyse auf Na^+ (Balken ohne Muster) und Cl^- (schraffierte Balken); F: Vergleich der Zuckeranalysen (gepunktete Linie: *R. mollis*, durchgezogene Linie: *R. rugosa*, Punkt: Saccharose, Quadrat: Glukose, Dreieck: Fruktose).

2.1 Ökophysiologische Schlussfolgerungen und Schutzmaßnahmen

Die invasive *R. rugosa* ist an den Küsten Norddeutschlands mittlerweile fester Bestandteil der Küstenvegetation und stellt ein ernstzunehmendes Problem für die natürliche Vegetation dar. Hat sich *R. rugosa* einmal etabliert, verdrängt sie vor allem die heimischen Strauchgemeinschaften. Die Zusammensetzung der einheimischen Flora ändert sich, und insbesondere die Biodiversität nimmt ab (ISERMANN 2008). Im NSG Geltinger Birk konkurriert der Neophyt mit der in Deutschland selten vorkommenden *R. mollis* um den Standort im unmittelbaren Strandbereich der Küste. *R. rugosa* weist eine weit größere ökologische Amplitude auf als *R. mollis*. Sie wächst unter unterschiedlichsten Bodenbeschaffenheiten an Steinküsten, entlang von Straßen, Wiesen und Ruderalstandorten (TOKARSKA-GUSIK 2003; WEIDEMA 2006), während *Rosa mollis* ein typischer Besiedler des unmittelbaren Strandbereiches (HENKER 2000) und darauf beschränkt ist. Erschwerend kommt hinzu, dass *R. mollis* auf der Geltinger Birk stark isoliert ist und keine Möglichkeit hat dem Neophyten auszuweichen. Die nächsten Populationen sind erst wieder auf Inseln Dänemarks und im Süden Schwedens zu finden. Es muss daher befürchtet werden, dass *R. mollis* im Laufe der Zeit von *R. rugosa* verdrängt werden könnte.

Ziel unserer Studie war es herauszufinden, ob die Dominanz der invasiven *R. rugosa* im Gegensatz zur heimischen *R. mollis* auf eine effektivere Anpassung an den Standort zurückzuführen sein kann. Die Ergebnisse unseres Gießexperiments zeigen, dass *R. rugosa* bessere Vermeidungsmechanismen gegen Salzanreicherungen in der Pflanze entwickelt hat als *R. mollis*. Vor allem die Ionenanalyse (Abb. 2E) lässt drauf schließen, dass *R. rugosa* einen Mechanismus besitzen muss, der den Strom von Na^+ - und Cl^- -Ionen in der Pflanze steuert und minimiert. Der Gehalt an Na^+ und Cl^- in den Blättern wird – in Bestätigung der Ergebnisse von WAHOME et al. (2001) – niedrig gehalten. Eine erhöhte Toxizität bleibt somit aus, so daß der Metabolismus weiterhin arbeiten kann. Als Schlussfolgerung ergibt sich, dass *R. rugosa* entweder das Salz innerhalb der Pflanze unschädlich machen kann oder es in Geweben einlagert, die nicht untersucht wurden. *Rosa mollis* dagegen reichert die Salzionen in den Blättern an und hat keine Möglichkeit, das Salz unschädlich zu machen. In der Folge sterben die Blätter ab, und die Vitalität der gesamten Pflanze ist beeinträchtigt. Dennoch scheint *R. mollis* einen gewissen Grad an Salzsensibilität zu besitzen. Die Werte der Photosynthese-, Transpirations- und Wassernutzungseffizienzraten steigen bis zum 70-mM-Meerwasseransatz an und erreichen nahezu die Werte der Kontrollpflanzen (Abb. 2A, C, D). Auch die stomatäre Leitfähigkeit zeigt diesen Anstieg, bleibt aber hinter den Kontrollpflanzen zurück (Abb. 2B). Bis zu einer gewissen Grenze hat der steigende Salzgehalt für *R. mollis* einen Dünge-Effekt. Die Versorgung der Pflanze mit Wasser über die Wurzeln kann sichergestellt werden, da der osmotische Druck durch das aufgenommene Salz aufrechtgehalten werden kann. In unserem Experiment liegt die Grenze bei 70 mM. Bei höheren Konzentrationen ist Salz für *R. mollis* toxisch, und der Stoffwechsel kommt im 150-mM-Ansatz und einer Osmolarität von 352.8 mosm/L (Tab. 2) zum Erliegen. An den Küsten Schleswig-Holsteins liegt die Salinität typischerweise im Bereich von 15 bis 18 PSU (GERDES 2004, SAGERT et al. 2008), woraus sich eine Osmolarität von 444 bis 533 mosm/l errechnen läßt (A. Huckauf, mdl. Mittlg.). Der Salzgehalt des Ostseewassers im natürlichen Habitat von *R. mollis* liegt somit deutlich im toxischen Bereich. Der Dünge-Effekt ist ähnlich bei *R. rugosa* bis zum 40-mM-Ansatz zu beobachten. Sie erreicht bei der stomatären Leitfähigkeit und der Transpirationsrate ähnlich hohe Werte wie die Kontrollpflanzen, bleibt aber unter den Werten von *R. mollis* (Abb. 2B, C). Nach dem 40-mM-Ansatz fallen die Werte ab, aber bei weitem nicht so stark wie bei *R. mollis*. Es scheint, dass *R. rugosa* Schwankungen des Salzgehaltes wesentlich besser tolerieren kann als *R. mollis*. Der Stoffwechsel von *R. rugosa* profitiert zwar nicht so stark vom Dünge-Effekt, kann aber bei steigenden Salzkonzentrationen aufrecht erhalten werden.

Im natürlichen Habitat der Geltinger Birk wird der Stoffwechsel beider Arten zusätzlich durch Salzeintrag durch Gischt beeinträchtigt. Die salzhaltigen Aerosole können über die Stomata auf-

genommen werden, erhöhen die Transpiration und beeinträchtigen die Photosyntheseleistung und den Gasaustausch. Infolgedessen verliert die Pflanze die Kontrolle über den Wasserverlust, es kommt zu Schäden an den Blättern, und die Pflanze zeigt ein verringertes Wachstum (ELHAAK et al. 1997; SANCHEZ-BLANCO et al. 2004).

Mit steigendem Salzgehalt häufen beide Arten vermehrt Zucker an. Dies bestätigt die Annahme, dass organisch gelöste Substanzen unter Salzstress akkumuliert werden (PARIDA & DAS 2005). Die als kompatible Substanzen gebildeten Zucker dienen dem osmotischen Schutz, der osmotischen Anpassung an die veränderten Verhältnisse durch die Aufnahme von Salz, der Kohlenstoffspeicherung und dem Schutz vor Radikalen (PARIDA & DAS 2005). Unsere Ergebnisse zeigen, dass *R. rugosa* durch einen verglichen mit *R. mollis* höheren Grundgehalt an Zuckern schneller auf die steigende Salzkonzentration reagieren und dieser entgegenwirken kann. Insbesondere Saccharose wird in den Blättern angehäuft und wirkt der Ionenakkumulation entgegen (GREENWAY & MUNNS 1980). Die Werte für Glukose und Fruktose nehmen dagegen ab, da sie die Bausteine für Saccharose sind. *Rosa mollis* reguliert im Gegensatz dazu bis zum Schluss die Synthese aller Komponenten hoch, um das Salz in den Blättern zu kompensieren. Der Stoffwechsel von *R. mollis* gerät somit weiter unter Stress, was vermutlich die Fitness von *R. mollis* beeinträchtigt. Die Hochregulation der Zuckersynthese ist von vielen anderen Pflanzenarten bekannt, z. B. *Triticum aestivum* L. (KEREPESI & GALIBA 2000; KHATKAR & KUHAD 2000) und *Vitis vinifera* L. (SINGH et al. 2000). Um herauszufinden, inwiefern die Hochregulation der Zuckersynthese und andere Mechanismen Rosen helfen, eine Anhäufung von Salz zu vermeiden, sind weitere Experimente geplant. Das Artenspektrum soll um *R. corymbifera* Borkh. und *R. canina* L. erweitert werden, und insbesondere soll mit *Rosa spinosissima* L. eine weitere Art der Küsten zum Vergleich herangezogen werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die invasive *R. rugosa* einen an dem Küstenstandort relevanten Vorteil gegenüber der heimischen *R. mollis* besitzt: Sie schafft es im Gegensatz zu *R. mollis*, das Salz aus den photosynthetisch aktiven Bereichen fernzuhalten, und sichert somit ihr Überleben. *R. mollis* schafft es ebenfalls, an den salzbeeinflussten Küstengebieten zu überleben. Dennoch scheint sie dem Konkurrenzdruck von *R. rugosa* auf Dauer nicht standhalten zu können. Dabei kommt sicher nicht nur eine geringere Salztoleranz gegenüber *R. rugosa* zum Tragen; ebenfalls eine Rolle spielen dürften die Fähigkeiten von *R. rugosa*, sich gegen Sandverschüttung, Frost und starken Wind behaupten zu können und flächendeckende Populationen durch starke Ausläuferbildung zu etablieren (BRUUN 2005). *Rosa mollis* befindet sie sich desweiteren am südlichen Rand ihres Verbreitungsgebietes, und die Einkreuzung von *R. rugosa* erschwert es, eine reine Population aufrecht zu erhalten (EIGNER & WISSEMAN 1999; KELLNER et al. (unpublizierte Daten)). Um die einzig flächendeckende Population einheimischer *R. mollis* in Deutschland zu erhalten, ist es notwendig, die Ausbreitung der invasiven *R. rugosa* im Naturschutzgebiet zu verhindern und die Standorte für die heimische Küstenvegetation inklusive *R. mollis* freizuhalten. Mit einer gleichzeitigen Wiederanpflanzung von *R. mollis* könnte deren Population stabilisiert werden. Oberste Prämisse muss aber die gleichzeitige Prävention von weiteren biologischen Invasionen sein.

Danksagung

Wir bedanken uns bei den Mitarbeitern des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein für die Erlaubnis, Blattmaterial von Rosen und Saatgut auf der Geltinger Birk sammeln zu dürfen. Desweiteren bedanken wir uns bei den Mitarbeitern der Integrierten Station Geltinger Birk für ihre Hilfe während der Feldarbeit. Wir bedanken uns bei Prof. Mühling und Dr. Geilfus (Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel) für die Unterstützung bei der Probenanalyse. Prof. Koyro, Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen, danken wir für die Hilfe bei der

Auswertung und den Mitarbeitern des Instituts für Botanik (AG Spezielle Botanik) der Justus-Liebig-Universität Gießen für die Hilfe während der Probenentnahme. Abschließend danken wir den anonymen Gutachtern für ihre hilfreichen Anmerkungen.

Literatur

- AHMAD, M. S. A., ASHRAF, M. & ALI, Q. (2010): Soil salinity as a selection pressure is a key determinant for the evolution of salt tolerance in Blue Panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.). *Flora* 205(1): 37–45.
- BRUUN, H. H. (2005): *Rosa rugosa* Thunb. ex Murray. *Journal of Ecology* 93(2): 441–470.
- CABRERA, R. I. & PERDOMO, P. (2003): Reassessing the salinity tolerance of greenhouse roses under soilless production conditions. *Hortscience* 38(4): 533–536.
- EIGNER, A. (1993): Große Sorgen um *Rosa mollis* auf der Geltinger Birk. *Kiel. Not. Pflanzenkd. Schleswig-Holstein Hamb.* 22: 30–31.
- EIGNER, A. & WISSEMAN, V. (1999): *Rosa* × *mangii*, eine neue intersektionelle Hybride charakterisiert durch morphologische und genetische Untersuchungen. *Hausknechtia* 7: 35–40.
- ELHAAK, M. A., MIGAHID, M. M. & WEGMANN, K. (1997): Ecophysiological studies on *Euphorbia paralias* under soil salinity and sea water spray treatments. *Journal of Arid Environments* 35(3): 459–471.
- GERDES, T. (2004): Die ökologische Charakteristik der Ostsee. Beitrag zum Mittelseminar Die Ostseeregion im Wandel. Geographisches Institut der Universität Kiel, Kiel: 10 S.
- GREENWAY, H. & MUNNS, R. (1980): Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 31: 149–190.
- HENKER, H. (2000) *Rosa*. In: Conert, H. J., Jäger, E. J., Kadereit, J. W., Schultze-Motel, W., Wagenitz, G. & Weber, H. E. (Hrsg.): *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Parey Buchverlag, Berlin: 1-108.
- ISERMANN, M. (2008): Classification and habitat characteristics of plant communities invaded by the non-native *Rosa rugosa* Thunb. in NW Europe. *Phytocoenologia* 38(1–2): 133–150.
- JÄGER, E. J. (2011): Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland – Gefäßpflanzen Grundband. 20. Aufl., Spektrum akademischer Verlag, Heidelberg: 930 S.
- JIMENEZ, M. S., GONZALEZ-RODRIGUEZ, A. M., MORALES, D., CID, M. C., SOCORRO, A. R. & CABALLERO, M. (1997): Evaluation of chlorophyll fluorescence as a tool for salt stress detection in roses. *Photosynthetica* 33(2): 291–301.
- KEREPESEI, I. & GALIBA, G. (2000): Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science* 40(2): 482–487.
- KHATKAR, D. & KUHAD, M. S. (2000): Short-term salinity induced changes in two wheat cultivars at different growth stages. *Biologia Plantarum* 43(4): 629–632.
- KHATTAB, S. E.-D. (2005): Untersuchungen zur Salztoleranz selektierter Rosen-Genotypen aus Sämlingspopulationen nach NaCl-Applikation. Dissertation, Universität Hannover, 158 S.
- KOWARIK, I. (2003): Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer Verlag, Stuttgart: 320 S.
- KURTTÖ, A., LAMPINEN, R. & JUNIKKA, L. (2004): Rosaceae (*Spiraea* to *Fragaria*, excl. *Rubus*). In: *Atlas florae europaeae – distribution of vascular plants in Europe*, Vol. 13. Helsinki: 320 p.
- LEXER, C., WELCH, M. E., DURPHY, J. L. & RIESEBERG, L. H. (2003): Natural selection for salt tolerance quantitative trait loci (QTLs) in wild sunflower hybrids: Implications for the origin of *Helianthus paradoxus*, a diploid hybrid species. *Molecular Ecology* 12(5): 1225–1235.
- MUNNS, R. (2002): Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell and Environment* 25(2): 239–250.
- MUNNS, R. & TESTER, M. (2008): Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651–681.
- NIU, G. & RODRIGUEZ, D. S. (2008): Responses of growth and ion uptake of four rose rootstocks to chloride- or sulfate-dominated salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 133(5): 663–669.
- NIU, G. H., RODRIGUEZ, D. S. & AGUINIGA, L. (2008): Effect of saline water irrigation on growth and physiological responses of three rose rootstocks. *Hortscience* 43(5): 1479–1484.

- OHBA, T., MIYAWAKI, A. & TÜXEN, R. (1973): Pflanzengesellschaften der japanischen Dünen-Küsten. *Vegetatio* 26: 1–143.
- PARIDA, A. K. & DAS, A. B. (2005): Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60(3): 324–349.
- ROMAHN, K. Z. (2010): Funde seltener, gefährdeter, neuer und wenig beachteter Gefäßpflanzen in Schleswig-Holstein VI. *Kiel. Not. Pflanzenkd.* 37: 83–103.
- SAGERT, S., PORSCHKE, C. & SELIG, U. (2008): Die Typologie im Kontext der Bewertungsverfahren für die deutsche Ostseeküste. *Rostock. Meeresbiolog. Beitr.* 20: 7–24.
- SANCHEZ-BLANCO, M. J., RODRIGUEZ, P., OLMOS, E., MORALES, M.A. & TORRECILLAS, A. (2004): Differences in the effects of simulated sea aerosol on water relations, salt content, and leaf ultrastructure of rock-rose plants. *Journal of Environmental Quality* 33(4): 1369–1375.
- SIDDIQUI, M. H., MOHAMMAD, F. & KHAN, M. N. (2009): Morphological and physio-biochemical characterization of *Brassica juncea* L. Czern. & Coss. genotypes under salt stress. *Journal of Plant Interactions* 4(1): 67–80.
- SINGH, S. K., SHARMA, H. C., GOSWAMI, A. M., DATTA, S. P. & SINGH, S. P. (2000): In vitro growth and leaf composition of grapevine cultivars as affected by sodium chloride. *Biologia Plantarum* 43(2): 283–286.
- TOKARSKA-GUSIK, B. (2003) The expansion of some alien plant species (neophytes) in Poland. In: Child, L. E. Brock, J. H., Brundu, G., Prach, K., Pysek, P., Wade, P. M. & Williamson, M. (Eds.). *Plant invasions: Ecological treats and management solutions*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands: 47–167.
- WAHOME, P. K. (1999): Untersuchung zur Reaktion von *Rosa* spec. auf Salzstreß *in vitro* und *in vivo*. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin: 158 S.
- WAHOME, P. K., JESCH, H. H. & GRITTNER, I. (2000): Effect of NaCl on the vegetative growth and flower quality of roses. *Journal of Applied Botany and Food Quality/Angewandte Botanik* 74(1–2): 38–41.
- WAHOME, P. K., JESCH, H. H. & GRITTNER, I. (2001): Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: *Rosa chinensis* ‘Major’ and *R. rubiginosa*. *Scientia Horticulturae* 87(3): 207–216.
- WEIDEMA, I. (2006): *Rosa rugosa* – Invasive alien species fact sheet. Online database of the north european and baltic network on invasive alien species NOBANIS. Online available at http://www.nobanis.org/files/factsheets/Rosa_rugosa.pdf [Last accessed 2012-03-04].
- WISSKIRCHEN, R. & HAEUPLER, H. (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Ulmer, Stuttgart: 765 S.

Manuskript eingereicht 2012-01-03, angenommen 2012-03-04.

Anschrift der Verfasser

Jens Föller, Alexandra Kellner und Volker Wissemann
Institut für Botanik
AG Spezielle Botanik
Heinrich-Buff-Ring 38
35392 Gießen
E-Mail: Jens.Föller@bot1.bio.uni-giessen.de
Alexandra.Kellner@bot1.bio.uni-giessen.de
Volker.Wissemann@bot1.bio.uni-giessen.de