

# Wasserhaushalt des Empetro-Ericetums auf Norderney

Peter Janiesch und Ingo Putz

**Abstract:** The water economy of the Empetro-Ericetum was investigated on the island of Norderney. Soil and plant analysis was carried out. Along a transect from highly humid to more or less dry soil conditions, correlations between soil and vegetation were observed. The species investigated, *Erica tetralix* and *Empetrum nigrum*, showed distinct differences in their osmotic potential.

## 1. Einleitung

In den feuchten Dünentälern der Nordseeinseln haben sich grundwasserabhängige Pflanzengesellschaften entwickelt. Viele zumeist kleinflächige, niedrigwüchsige Bereiche drohen durch natürliche Sukzessionsprozesse (Verbuschung) zu verschwinden. Dazu kommen die in den letzten zwei Jahrzehnten tourismusbedingt gestiegene Wasserentnahme aus der Süßwasserlinse der Inseln und andere anthropogene Maßnahmen, die diese einmaligen Lebensräume zu vernichten drohen (PETERSEN et al. 2003, GROOTJANS et al. 1998). Eine umfassende Beschreibung der Vegetation der feuchten Dünentäler hat PETERSEN (2000) vorgelegt.

In der Bakenlegde auf Norderney haben sich Komplexe feuchter und trockener Dünengesellschaften kalkarmer Standorte erhalten, die als besonders schützwürdig gelten. Als eine dieser grundwasserabhängigen Gesellschaften wird in dieser Arbeit das in den entkalkten Böden der Tertiärdünen auftretende Empetro-Ericetum typicum genauer untersucht. Der Wasserhaushalt in Abhängigkeit von den herrschenden Standortfaktoren der beiden namensgebenden ericoiden Arten *Erica tetralix* und *Empetrum nigrum* steht dabei im Mittelpunkt des Interesses. Es wurde ein Transekt, das feuchte Glocken- und trockene Krähenbeerenheiden umfasst, angelegt, in dem klimatische sowie edaphische Untersuchungen durchgeführt und die Wasserpotentiale der beiden Arten gemessen wurden. Zunächst sollte geklärt werden, welche klimatischen und edaphischen Unterschiede auf den verschiedenen Standorten vorherrschen. Daraus ergibt sich die Frage, wie sich die ermittelten Unterschiede im Tagesgang auf den Wasserhaushalt der Pflanzen auswirken und bei welchen Bedingungen die Pflanzen unter Trockenstress geraten. Die gefundenen Ergebnisse sollen das Wissen über den Wasserhaushalt und den Trockenstress der untersuchten Pflanzengesellschaften und Arten verbessern und helfen, den Gefährdungsgrad der bedrohten Bereiche einzuschätzen und geeignete Schutzmaßnahmen abzuleiten.

## 2. Material und Methoden

### Einrichtung der Probestellen

Im Jahr 2002 wurde ein Transekt entlang eines Feuchtegradientens im Empetro-Ericetum angelegt und in drei Teilabschnitte (Feuchtbereich – Übergangsbereich – Trockenbereich) unterteilt. In jedem Teilabschnitt wurde ein Messpfahl errichtet, an dem die entsprechenden Boden- und Klimamessungen durchgeführt wurden. Der Höhenverlauf des Transektes wurde mit einem Nivelliergerät bestimmt, die Probenpfähle über GPS eingemessen.

### Messung der Temperatur, Luftfeuchte und Evaporation

Die Lufttemperaturmessung erfolgte in drei verschiedenen Höhen: 100 cm, 40 cm, 0 cm. Als Messgeräte dienten die Trockenthermometer der angebrachten Psychrometer. Die Messung bei 0 cm wurde mit einer mobilen Temperatursonde durchgeführt.

An den aufgestellten Pfosten wurden in 40 und 100 cm Höhe (Höhe der Messsonden) jeweils zwei Aspirationspsychrometer nach Assmann (Theodor Friedrichs Typ 3060) aufgehängt. Über die Differenz zwischen einem trockenen und einem feuchten Thermometer ließ sich die Luftfeuchte bestimmen (STEBING 1965).

Die Evaporimeter (nach Piche) wurden morgens mit Wasser gefüllt und mit der Papierfilter-bedeckten Öffnung zum Boden hin in 40 und 100 cm Höhe aufgehängt, so dass die Wassersäule auf dem fixierten Papierfilter (Rundfilter 5703  $\text{\AA}$  30 mm) stand. Zur Berechnung wurde folgende Formel aus den DVWK Merkblättern zur Wasserwirtschaft (DVWK 1996) benutzt:

$$ETp_{\text{PICHE}} = f * 0,79 * V_{\text{PICHE}}$$

Die Bodenfeuchte wurde mit je drei Werten pro Standort über eine FDR-Sonde (ThetaProbe ML1, Fa. Delta-T Devices Ltd.) ermittelt. Bei den Messungen wurden vorhandene Streuauflagen ebenfalls nicht berücksichtigt.

### Messung der Wasser- und osmotischen Potentiale

Die Wasserpotentiale wurden mit der von SCHOLANDER et al. (1965) entwickelten Druckkammertechnik (pms instrument Co.) ermittelt. Um die Wasserpotentiale sinnvoll mit den klimatischen Daten korrelieren zu können, wurden die Werte etwa im gleichen Zeitraum von einer Stunde nach Erfassung der klimatischen Parameter ermittelt.

Nach jedem Messdurchgang wurde eine ausreichende Menge an Pflanzenmaterial zur Gewinnung von Presssäften gesammelt. Die Blütenstände bei *Erica tetralix* wurden entfernt. In kleinen, beschrifteten Plastiktüten wurden die Proben verpackt und umgehend tiefgefroren. Mit einer Hydraulikpresse wurde nach dem Auftauen ein Presssaft gewonnen. Etwa 200  $\mu\text{l}$  Presssaft wurde zur Bestimmung des osmotischen Potentials verwendet. Die Bestimmung der osmotischen Potentiale erfolgte kryoskopisch mit dem Osmomat 030 (Gonotec)

## 3. Das Klima auf Norderney

Auf Norderney herrscht wie auf den anderen Nordseeinseln ein stark vom Meer beeinflusstes, ausgeglichenes Klima. Die Inseln gehören zu den wärmsten Gebieten in Norddeutschland (SEEDORF & MEYER 1992). Im Vergleich zum Festland sind die Sommer kühler und die Winter milder. Höhere Niederschläge sowie eine konstant hohe Luftfeuchte sind genauso ein Charakteristikum wie geringere Schwankungen der Temperaturkurven im Tagesgang. In diesem ausgeglichenen, kühl-feuchten Klima treten extreme Frosttage und sehr heiße Tage seltener auf als im Landesinneren.

Juli und August sind mit über 17° C im Mittel die wärmsten Monate auf den Inseln. In den Sommermonaten sinkt die relative Luftfeuchte leicht auf etwa 77 % ab, die Sonne scheint zwischen Mai und Juli über 200 Stunden pro Monat. Die kälteste Zeit mit mittleren Temperaturen um die 3° C liegt zwischen Dezember und Februar, in der die Luftfeuchte auf über 85 % steigt und die Sonnenscheindauer bei nur ca. 50 Stunden im Monat liegt. Die mittlere Windgeschwindigkeit erreicht in 10 m Höhe (14 Uhr) über das Jahr etwa 4 BFE (mäßige Brise) (НОВОМ 1993). Die regenreiche Zeit setzt zumeist im August ein, im Dezember/Januar nehmen die Niederschläge wieder ab. Geringere Niederschläge fallen im Frühling zwischen März und Mai.

Im Untersuchungsjahr 2002 herrschten vergleichsweise hohe Temperaturen. Auf den milden Winter folgte ein warmer Sommer mit hohen mittleren Temperaturen im Juli/August, vergleichbar mit den warmen Sommern 1991, 1994/95 und 1997. In den warmen Monaten stiegen die Temperaturen an einzelnen Tagen über 30° C.

## 4. Wasserhaushalt der Insel

Die versickerten Niederschläge haben unter der Insel Norderney im Verlauf ihrer Entwicklung eine Süßwasserlinse von bis zu 80 m Mächtigkeit gebildet, die sich aufgrund der unterschiedlichen spezifischen Gewichte nur im Randbereich mit dem umgebenden Salzwasser vermischt. Der obere Grundwasserspiegel ist hauptsächlich abhängig vom Relief, der Evapotranspiration, den Niederschlägen und der Wasserentnahme. Nach ARMBRÜSTER & JANIESCH (2001, 2003) liegt der Rand der Süßwasserlinse in Höhe des Tide-mittelwassers, während das Niveau in der Mitte zwischen +1 und +2 m über NN erreichen kann. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Bildung feuchter Dünentäler. Da kein Grundwasserzustrom möglich ist, wird die Süßwasserlinse allein durch das Regenwasser gespeist. Die Versickerungsraten liegen im Winterhalbjahr bei 90 % und im Sommer bei ca. 50 % (ARMBRÜSTER & JANIESCH 2003). Im Gegensatz dazu ist der Wasserbedarf im Sommerhalbjahr am höchsten, weshalb die Wasserlinie in den Sommermonaten zumin-

dest lokal deutlich absinken kann. Nachhaltige Veränderungen des Grundwasserspiegels führen zu Vegetationsveränderungen. Auf Norderney bewirkte die Wasserentnahme im Bereich der Bakenlegde eine Förderung grundwasserunabhängiger Heiden zu Lasten von Flachmoorgesellschaften (PETERSEN 2000).

5. Die Entwicklung der Feuchtheiden

Feuchte Dünentälchen entstehen primär zwischen zwei parallel angeordneten Dünenketten oder sekundär in einer durch Ausblasung gebildeten Ebene. Die Abfolge der Pflanzengesellschaften der Dünentäler wird in der landschaftsökologischen Gliederungseinheit „Hygroserie“ zusammengefasst. (Abb. 1). Hat sich ein neuer Dünenzug geschlossen, so siedeln sich in den kalkreichen, nassen Tälern, die im Kontaktbereich zur Haloserie (Vegetation der Salzwiesen) noch salzwasserbeeinflusst sind, Pionier-Gesellschaften wie das Samolo-Littorelletum (nass) oder das Centauro-Saginetum (mäßig feucht) an. Da die Bereiche vom direkten Meereseinfluss abgetrennt wurden, nimmt die Salinität allmählich ab; parallel dazu setzen Entkalkungsprozesse ein, die eine pH-Wert-Senkung zur Folge haben. Im weiteren Verlauf finden sich höherwüchsige Arten des Junco baltico-schoenetum nigricantis ein, und es bilden sich Kalkflachmoore. Sinkt der pH-Wert unter den Neutralpunkt, so können sich langsam azidophile Arten durchsetzen. In der Regel werden die Kalkflachmoore durch *Carex nigra*-Gesellschaften (Braunseggensümpfe) abgelöst, vor allem, wenn parallel zur pH-Absenkung die Bodenfeuchte zunimmt. Bei starker pH-Ernedrigung und etwa gleich bleibender Bodenfeuchte findet ein Wechsel direkt

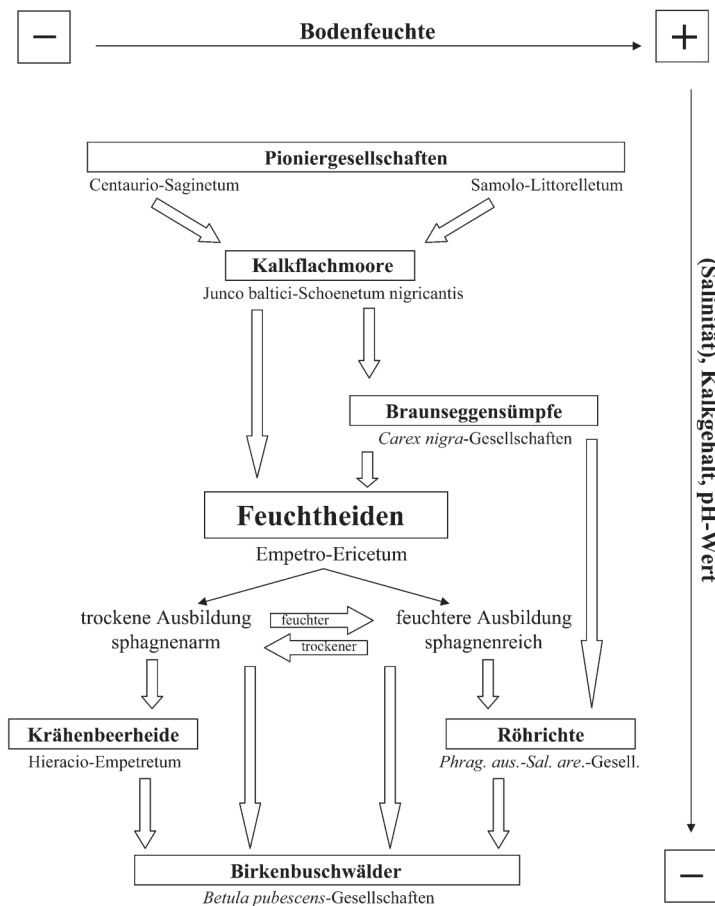


Abb. 1: Die Hygroserie auf Norderney unter besonderer Berücksichtigung der Feuchtheiden (verändert nach PETERSEN 2000 und POTT 1995)

zum Empetro-Ericetum statt, was seltener der Fall ist. Aus den Braunseggensümpfen entwickeln sich nach weiterer pH-Senkung und leichter Abnahme der Bodenfeuchte Feuchtheiden (Empetro-Ericeten) (PETERSEN 2000, GROOTJANS et al. 1991).

Die Sukzession in den Empetro-Ericeten verläuft entweder direkt zu einem Birkenbuschwald oder über eine Phase mit *Phragmites australis*-*Salix arenaria*-Röhrichten und *Salix cinerea*-*S. arenaria*-Gesellschaften nach stärkerer Verhagerung. Auch die Ausbreitung des Hieracio-Empetretum ist in den Dünentälern häufiger zu beobachten (НОВОМН 1993). Nährstoffsituation und Bodenfeuchte bestimmen den Weg der Sukzession zum Birkenbuschwald; nach POTT (1995) können die Feuchtheiden lediglich an windexponierten Stellen Endstadium der Entwicklung bleiben.

## 6. Die Vegetation entlang des Transektes

Die Probenstandorte befinden sich im nordwestlichen Teil der Insel ca. 3 km vom Ortskern entfernt, nahe dem Wasserwerk II. Die Verbuschung, hauptsächlich durch *Betula pubescens*, ist in diesem Bereich zum Teil weit vorangeschritten. Vorherrschend sind jedoch immer noch gebüschfreie Graudünengesellschaften. Das 21 m lange Transekt wurde in einem gebüschfreien Teil durch kleine Markierungen im Meterabstand abgesteckt. Es beginnt mit einem niedriger gelegenen, trockeneren Empetro-Ericetum-Abschnitt und geht allmählich mit ansteigendem Gelände in einen Hieracio-Empetretum-Bereich über.

Tab. 1: Ergebnis der Vegetationsaufnahme im Transekt (FB-Feuchtbereich, ÜB-Übergangsbereich, TB-Trockenbereich)

Datum	14.7.																				
Bereich	FB	FB	FB	FB	FB	FB	ÜB	ÜB	ÜB	ÜB	ÜB	ÜB	ÜB	ÜB	ÜB	TB	TB	TB	TB	TB	
Aufnahme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Fläche qm	1x1																				
Gesamtbedeckung in %	97	85	55	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	
Artenzahl	11	12	10	9	8	9	9	10	8	7	6	4	4	7	5	4	5	5	6	7	
<b>Zwergstrauchschicht</b>																					
<i>Erica tetralix</i>	5	4	2b	5	5	4	3	2a	2b	2a	2a	1b	2a	1b	1b			1a		1a	1a
<i>Empetrum nigrum</i>	2a	1a	1a	1a	1b	3	3	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	
<i>Salix repens</i>	1b	1b	2a	2a	1b	1b	2a	1a	2a	2a				+							
<i>Carex nigra</i>	1a	1a	2a	x	1a	1a	1a	1a	+	+											
<i>Betula pubescens</i> (juv.)	1a	1a	1a	1a	2a	1a	1b	1a						+							
<i>Populus tremula</i> (juv.)	1a	1b	1b	1a			1a	+													
<i>Juncus effusus</i>			2a	1b																	
<i>Juncus conglomeratus</i>		+	r		1a																
<i>Vaccinium uliginosum</i>	1a	1a		1b		1a	1a	1b	1b		1a										
<i>Carex arenaria</i>	+	1a			+	+		1a	1a	+	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	+	1a	1a
<i>Calluna vulgaris</i>																					
<b>Moosschicht</b>																					
<i>Dicranum scoparium</i>	1a	2a	1b	1b	1b	2a	1b	2a	2a	1b	2a		1b	2a	2a	1b	2a	1b	1b		
<i>Hypnum jutlandicum</i>	1a	+	+	+		2a	1b	2a	2b	2a	3	5	5	2a	3	5	5	5	4	4	
<i>Cladonia spec.</i>	r																				
<i>Cladonia spec.</i>																			1a	1b	1a
<b>Weitere Arten in den Aufnahmen:</b>																					
<b>FB:</b> <i>Sphagnum capilliformium</i> , <i>Potentilla erecta</i> – <b>ÜB:</b> <i>Calamagrostis epigejos</i> , <i>Politrichum commune</i> – <b>TB:</b> <i>Holcus lanatus</i> , <i>Anthoxanthum odoratum</i>																					

Die Vegetationsaufnahmen (Tab. 1) zeigen deutlich die abnehmende Deckung von *Erica tetralix* nach etwa 7 Metern und die gleichzeitige steigende Dominanz von *Empetrum nigrum*. Auch die in den ersten Metern des Transekts vorhandenen *Juncus*-Arten dokumentieren den Grundwassereinfluss im Bereich des Empetro-Ericetums. *Sphagnum*-Arten treten vereinzelt als Begleiter auf. Andere Feuchtezeiger wie *Carex nigra* und *Vaccinium uliginosum* streuen weiter in einen Übergangsbereich ein. PETERSEN (2000) weist *Vaccinium uliginosum* den hier auftretenden sphagnumarmen, trockeneren Empetro-Ericeten zu. Die ersten 7 Meter des Transekts wurden als „Feuchtbereich“ bezeichnet und der trockeneren Variante des Empetro-Ericetum zugewiesen.

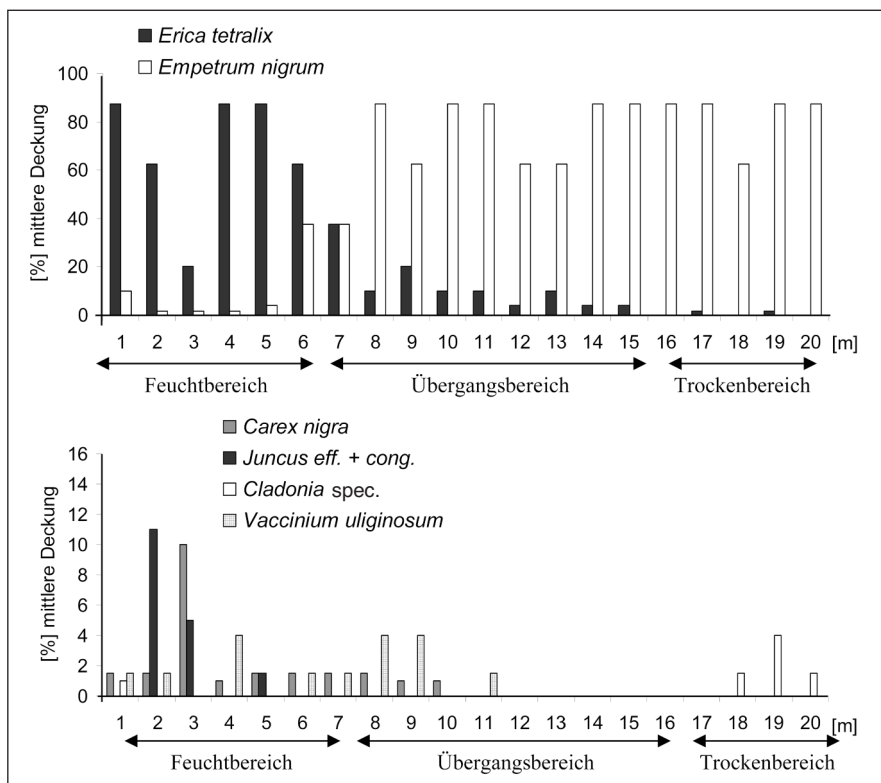


Abb. 2 Mittlere Deckungsgrade wichtiger Arten im Transekt Bakenlegde.

Von Meter 7 bis 15 kommt *Erica* stetig mit mittleren Deckungsgraden von 4 bis 10 % vor. Dieser Teil wurde als „Übergangsbereich“ zwischen Empetro-Ericetum und Hieracio-Empetretum betrachtet.

Nach 15 Metern nehmen die Stetigkeit und die mittleren Deckungsgrade von *Erica* deutlich ab, der folgende Abschnitt wird daher als „Trockenbereich“ bezeichnet und dem Hieracio-Empetretum zugeordnet.

Die von ARMBRÜSTER & JANIESCH (2003) ermittelten Wasserstände im Zusammenhang mit dem Höhenverlauf des Transekts (Abb. 3) bestätigen die gefundene Verteilung der Vegetation. Im feuchten Bereich steht das Wasser demnach in regenreicheren Jahren (z. B. 2003) ab Herbst/Winter und Frühling hoch an, zeitweise über Flur. In regenärmeren Jahren können die Wasserstände bis in den Winter hinein tief bleiben und erst im Frühling bis

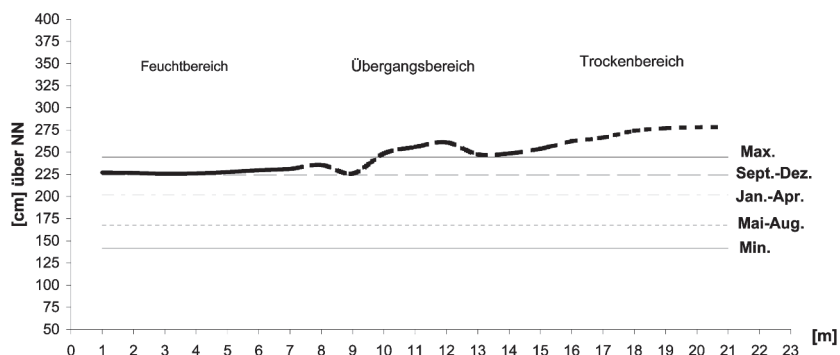


Abb. 3 Wasserstände 2000/2001 im Bereich des Transektes Bakenlegde nach ARMBRÜSTER & JANIESCH (2003).

kurz unter die Oberfläche ansteigen. Im Sommer sinken die Grundwasserstände im trockenen Bereich bis zu 1 m unter Flur. Stark schwankende, aber zumindest zeitweise hohe Wasserstände sind kennzeichnend für viele Bereiche, in denen Empetro-Ericeten vorkommen (PETERSEN 2000, POTT 1995). Die beiden anderen Transektabschnitte werden nie überflutet, der trockene Teil kommt höchstens in sehr regenreichen Perioden zeitweise unter leichten Grundwassereinfluss.

## 7. Temperaturen, Luftfeuchtigkeit, Bodenfeuchte und potentielle Verdunstung

Die Temperaturverläufe im Transekt waren vor allem an den Messtagen im Juli gleichmäßig, ohne große Temperaturschwankungen. Die Temperaturen im Übergangsbereich schienen im Vergleich zu den beiden anderen Abschnitten etwas ausgeglichener zu sein. Die mittleren Temperaturen der verschiedenen Messtage sind Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Gemittelte Temperaturen mit den jeweiligen Standardabweichungen in den drei Transektbereichen, gemessen an zwei verschiedenen Tagen zwischen 8 und 20 Uhr in 40 und 100 cm Höhe.

Tag	Höhe	Feuchtbereich	Übergangsbereich	Trockenbereich
16.07.02	40 cm	17,3°C [+/-] 1,59	17,6°C [+/-] 1,59	17,6°C [+/-] 2,11
	100 cm	17,2°C [+/-] 1,31	17,0°C [+/-] 1,04	17,2°C [+/-] 1,43
26.07.02	40 cm	20,9°C [+/-] 1,50	21,1°C [+/-] 1,70	21,4°C [+/-] 2,10
	100 cm	20,7°C [+/-] 1,20	20,8°C [+/-] 1,20	20,7°C [+/-] 1,40

Der 26.07. war der wärmste Messtag im Transekt. Die Temperaturen in 100 cm Höhe waren dabei in allen drei Abschnitten ausgeglichen, was sich an den geringfügigen Unterschieden in den mittleren Temperaturen zeigt.

Die mittleren Tagestemperaturen in 40 cm Höhe lagen zumeist etwas höher als die bei 100 cm. Die Tagesschwankungen der Temperaturen waren hier ebenfalls etwas größer als in 100 cm Höhe. Morgens war häufig ein etwas steilerer Anstieg der Temperaturkurve im Vergleich zu der bei 100 cm zu verzeichnen, während die Auskühlung gegen 20 Uhr etwas stärker war. Gegen 14 Uhr wurden meist höhere Maximalwerte erreicht.

Die Unterschiede der relativen Luftfeuchten in den beiden Messhöhen und an den verschiedenen Standortbereichen innerhalb des Transektes fielen gering aus. Die mittleren Luftfeuchten der verschiedenen Messtage zeigen dagegen zum Teil Differenzen von bis zu 20 Prozentpunkten (Tab. 3).

Tab. 3: Gemittelte relative Luftfeuchte mit der jeweiligen Standardabweichung in den drei Transektbereichen, gemessen an vier verschiedenen Tagen zwischen 8 und 20 Uhr in 40 und 100 cm Höhe.

Tag	Höhe	Feuchtbereich	Übergangsbereich	Trockenbereich
16.07.02	40 cm	65,0% [+/-] 9,3	61,4% [+/-] 4,9	65,4% [+/-] 7,4
	100 cm	65,5% [+/-] 8,7	65,3% [+/-] 5,0	64,0% [+/-] 7,0
26.07.02	40 cm	76,0% [+/-] 5,1	76,9% [+/-] 5,9	73,1% [+/-] 6,2
	100 cm	76,5% [+/-] 4,2	77,7% [+/-] 5,7	76,7% [+/-] 4,5

Die potentielle Verdunstung innerhalb eines Tagesganges war morgens niedrig und stieg zwischen 12 und 18 Uhr an. Zum Abend hin wurden wieder geringere Werte gemessen. Insgesamt wurde in 1 m Höhe etwas mehr verdunstet als in 40 cm (Tab. 4).

Tab. 4: Gemittelte potentielle Verdunstung mit der jeweiligen Standardabweichung in den drei Transektbereichen, gemessen an vier verschiedenen Tagen zwischen 8 und 20 Uhr in 40 und 100 cm Höhe. In Klammern ist die monatliche Verdunstung angegeben.

Tag	Höhe	Feuchtbereich	Übergangsbereich	Trockenbereich
20.06.02	40 cm	2,51 mm (75 mm)	1,69 mm (51 mm)	1,70 mm (52 mm)
	100 cm	1,75 mm (52 mm)	2,03 mm (61 mm)	2,10 mm (64 mm)
16.07.02	40 cm	0,99 mm (30 mm)	1,15 mm (35 mm)	1,02 mm (31 mm)
	100 cm	1,11 mm (33 mm)	1,21 mm (36 mm)	1,21 mm (36 mm)
26.07.02	40 cm	1,50 mm (45 mm)	1,15 mm (35 mm)	1,34 mm (40 mm)
	100 cm	1,37 mm (41 mm)	1,21 mm (36 mm)	1,31 mm (39 mm)

Im feuchten Standortbereich des Transektes wurden an allen Messtagen die höchsten Bodenfeuchten gemessen. Die Werte zwischen Juni und Ende August schwankten weniger stark als die der übrigen Bereiche (von 39 Vol. % am 16.07. bis 46 Vol. % am 17.08.). Der Übergangsbereich zeigte mit Werten zwischen 32 Vol. % und 20 Vol. % die weiteste Amplitude. Vom 16.07. zum 26.07. verlor der Boden etwa 6 % an Feuchte. Die niedrigsten Werte wurden im trockenen Transektabschnitt gemessen. In Abb. 4 sind die Mittelwerte der einzelnen Messtage wiedergegeben.

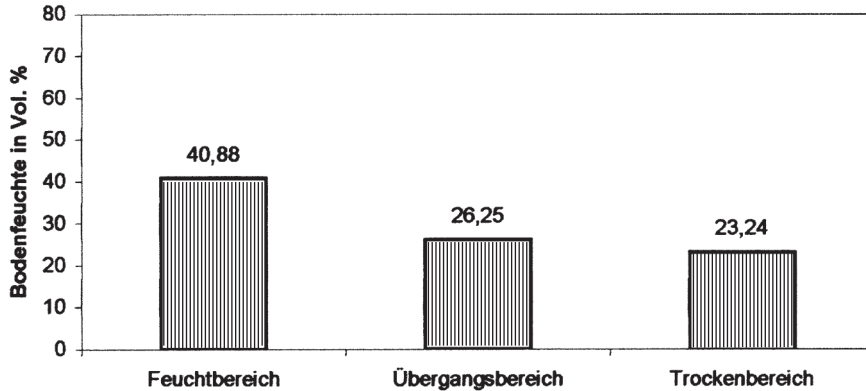


Abb. 4: Mittelwerte der Wassergehalte der Böden zwischen Juli und August 2002 in den drei Transektabschnitten.

#### 8. Wasser- und osmotische Potentiale von *Erica tetralix* und *Empetrum nigrum*

Der Wasserhaushalt von Pflanzen lässt sich durch Messung der Gesamtwasserpotentiale und der osmotischen Potentiale beschreiben. Während das Wasserpotential die Gesamtsaugkraft der Pflanzen wiedergibt, zeigt das osmotische Potential die Saugkraft der einzelnen Zelle. Im Vergleich beider Messparameter lassen sich Wasserdefizite und damit Stoffwechselstörungen nachweisen.

In Abb. 5 und 6 werden typische Tagesgänge der Wasser- und osmotischen Potentiale von *Empetrum nigrum* und *Erica tetralix* an den Messpunkten am 26.07. gezeigt. Die Wasserpotentiale beider Arten unterschieden sich nur wenig. Sie folgten in allen Transektabschnitten einem ausgeprägten Tagesgang.

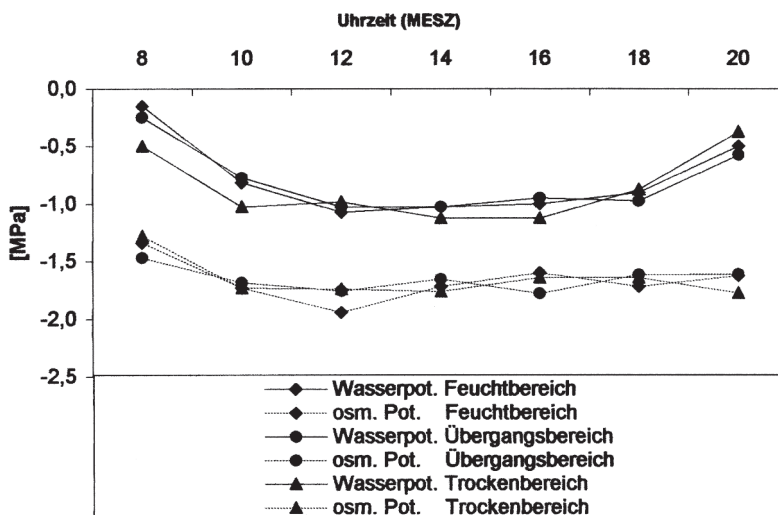


Abb. 5: Wasserpotentiale und osmotische Potentiale von *Empetrum nigrum* aus den drei unterschiedlichen Transektbereichen am 26.07.2002.

Im Tagesgang zeigten sich morgens zu Beginn der Messungen höhere Werte und damit niedrigere Saugkräfte. Ihr Minimum erreichten sie um die Zeit zwischen 12 und 16 Uhr; gegen Abend stiegen die Werte wieder. Die Minima lagen in den drei Transektabschnitten etwa im selben Bereich, während die Maxima im feuchten Abschnitt etwas höher lagen als die der beiden anderen Transektbereiche. In der Nachtmessung lagen um 22 Uhr alle Werte über  $-0,5$  MPa. Das Maximum wurde in allen drei Bereichen zwischen 24 und 6 Uhr (ca.  $0,14$  MPa) erreicht. Um 8 Uhr sanken die Werte auf etwa  $-0,5$  MPa und erreichten zwischen 12 und 14 Uhr mit  $-1,25$  MPa ihre niedrigsten Werte.

Größere Unterschiede ergaben sich bei den osmotischen Potentialen beider Arten. Die osmotischen Potentiale lagen bei *Empetrum nigrum* deutlich niedriger als die Wasserpotentiale. Die Mittelwerte am 26. Juli erreichten  $-1,65$  MPa. Die maximale Potentialdifferenz betrug  $0,95$  MPa. Bei *Erica tetralix* dagegen lagen beide Werte nahe beieinander. Die Mittelwerte erreichten nur einen Wert von  $1,09$  MPa. Die Differenz zwischen Wasser- und osmotischem Potential belief sich bei dieser Art im Mittel auf  $0,33$  MPa. Die Schwankung der Werte im Tagesgang blieb gering. Der höchste Wert wurde häufig um 10 Uhr erreicht, die niedrigsten zwischen 18 und 20 Uhr. Die Werte lagen stets unter denen von *Empetrum nigrum*.

Die Kurven der osmotischen Potentiale zeigten im Gegensatz zu denen der Wasserpotentiale kaum tageszeitlich bedingte Schwankungen. Zwischen 12 und 14 Uhr stiegen die Werte etwas leicht an.

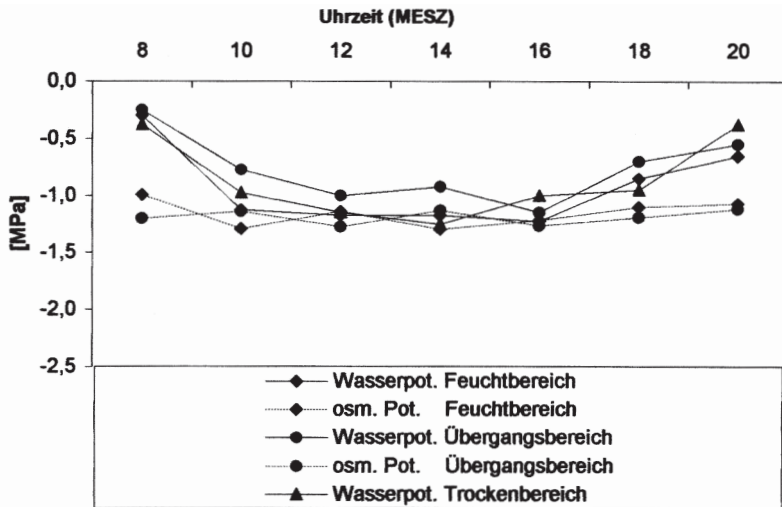


Abb. 6: Wasserpotentiale und osmotisches Potentiale von *Erica tetralix* aus den drei unterschiedlichen Transektbereichen am 26.07.2002.

## 9. Diskussion

Mikroklimatische Unterschiede sind besonders gut an Strahlungstagen zu erfassen (LACHE 1976). An Tagen starker Einstrahlung, geringer Luftbewegung und ohne fest umrissene Bewölkung verdunsteten die Pflanzen viel Wasser. An diesen Tagen ist eine Messung des Gesamtwasserpotentials im Tagesgang am sinnvollsten, wenn dieses als Maß für den Trockenstress, unter dem eine Pflanze steht, dienen soll. Der hier beschriebene Messstag am 26.07. ist ein solcher gewesen und gibt daher die Grenzsituation für den Wasserhaushalt der untersuchten Arten gut wieder.

Es sind zwei Klimabereiche zu unterscheiden: Das durch die Zwergsträucher beeinflusste Mikroklima (etwa bis Bestandeshöhe) und das darüber hinaus wirkende Großklima. Unterhalb von etwa 40 cm wird das Klima mehr oder weniger deutlich durch die jeweils vorherrschende Zwergstrauchart geprägt. Das von ericoiden Arten gebildete Mikroklima



wurde schon häufig untersucht (z. B. LACHE 1976, BARKMAN 1990). Nach WILMANN (1993) gibt es neben den Ericaceen nur wenige Familien, die ihren Lebensraum derart klar prägen. Die im Vergleich zu *E. tetralix* deutlich dichteren, moosreicheren *E. nigrum*-Abschnitte bilden eine mächtige Auflage, die wie eine Isolierschicht wirkt. Durch den horizontalen Wuchs der Krähenbeere dringt kaum Licht auf darunter liegende Bereiche: Ein- und Ausstrahlung werden stark gemindert. Die Temperaturamplitude im Tagesgang ist daher im Übergangsbereich und im Trockenem im Boden bei 0 cm, -1 cm und bei -10 cm in der Regel ausgeglichener und etwas niedriger als in offeneren, feuchten Bereichen, auf denen die im Vergleich zur Krähenbeere aufrecht und lückiger wachsende *E. tetralix* stockt, die keine ausgeprägte Streuschicht bildet. Die Ein- und Ausstrahlung ist in den von *E. tetralix* dominierten Bereichen höher. Hinzu kommt, dass die oberen Bodenbereiche im Feuchten dunkler sind, also weniger Strahlung reflektieren. Auf diese Weise wird in feuchteren Böden die Wärme besser geleitet als in den trockenen, luftreicheren Böden der beiden anderen Transektabschnitte. Die Tatsache, dass es auch in *E. nigrum*-Beständen zu einem leichten Wärmestau in Bodennähe kommen kann, wurde schon von LACHE (1976) beobachtet. Neben der Temperaturisolierung verhindert die organische Auflage der *E. nigrum*-Bereiche eine schnelle Austrocknung der Böden und kann zudem Feuchtigkeit speichern. Bei den auftretenden mikroklimatischen Unterschieden spielen also weniger die Höhenunterschiede bzw. das Relief eine Rolle als vielmehr die darauf wachsende Vegetation. Die Vegetationsverteilung wiederum hängt stark vom Höhenverlauf ab.

Oberhalb 40 cm bzw. über der Vegetationsgrenze lassen sich kaum relevante Unterschiede zwischen den Transektabschnitten feststellen. BARCLAY-ESTRUP (1995) zeigte, dass der Einfluss der Zwergsträucher auf die angrenzenden Luftschichten bald nachlässt. In 100 cm Höhe stellte er kaum noch Unterschiede fest. Die Temperatur nimmt mit steigendem Abstand zur Energieumsatzfläche langsam ab, die Windgeschwindigkeit nimmt etwas zu. Der das Transekt umgebende Birkenaufwuchs bremst die Windgeschwindigkeit weiter ab, gleichzeitig werden die Randbereiche zumindest zeitweise beschattet. Die schützende Wirkung der Birkenbüsche scheint vor allem *E. nigrum* aber auch weiteren Birkenjungwuchs zu fördern. Die ausgeglichenen Temperaturen, die höhere Luftfeuchte und die geringe Anzahl an Strahlungstagen ermöglichen es *E. nigrum*, in Küstenbereichen auch südexponierte Hänge zu besiedeln (LACHE 1976). Die Glockenheide scheint die Beschattung weniger gut zu vertragen.

Entscheidender für die Vegetationsverteilung im Transekt scheinen hydrologische Gegebenheiten zu sein (ERNST 1991). Die gemessenen Bodenfeuchten im Höhenverlauf korrelieren gut mit den Abständen zur Wasserlinie. Mit einem Abstand von etwa 1 m zum Minimum und 0,3 m zum Maximum kann sich *E. tetralix* gegenüber *E. nigrum* nicht mehr durchsetzen; die Art tritt nur noch als Begleiter auf. Da die sandigen Böden ein nur geringes Wasserhaltevermögen besitzen, findet schon in relativ geringer Entfernung zur Grundwasserlinie kein kapillarer Aufstieg mehr statt (PETERS & POTT 1999). Niederschläge versickern schnell, andererseits bleiben geringe Bodenwassergehalte länger pflanzenverfügbar. LACHE (1976) gibt für mittelkörnigen Sand einen Kapillarsaum von 60–70 cm über dem Grundwasser an. Ohne den Einfluss der organischen Auflage der *E. nigrum*-Heiden wären die mit den Feuchtheiden verzahnten, grundwasserentfernten Bereiche vermutlich zu trocken für die Glockenheide. Das feucht-milde Mikroklima der angrenzenden *E. nigrum*-Heiden ermöglicht es der Glockenheide, etwas weiter in grundwasserfernere Bereiche vorzudringen. Auf der anderen Seite scheinen die im Herbst/Winter auftretenden Überstauungen das Wachstum von *E. nigrum* in den Tälern zu begrenzen, die Krähenbeere tritt somit für die Glockenheide als geschwächter Konkurrent auf.

Der bei den drei Arten an allen Messtagen ähnliche Verlauf der Wasserpotentialkurve im Tagesgang wurde auch von LINDERHAUER (1980) und SCHOLANDER et al. (1965) festgestellt. Mit beginnender Transpiration und dem damit verbundenen Wasserverlust sinken die Werte bereits am Sonnenaufgang und steigen bei nachlassender Transpiration gegen Abend wieder an. In der Nacht können sich die Pflanzen bei ausreichender Bodenfeuchte wieder mit Wasser aufsättigen, die Wasserpotentiale müssen lediglich die Bodensaugspannung ausgleichen (LINDERHAUER 1980).

Da die Wasserpotentiale der zwei untersuchten Arten etwa in der gleichen Größenordnung lagen (Minimum bei etwa -1,2 MPa), kann davon ausgegangen werden, dass den Pflanzen an allen Messtagen ausreichend Wasser zur Verfügung stand. Die Tatsache, dass die gemessenen Wasserpotentiale in der vorliegenden Arbeit an allen Tagen meist

nur geringe Standardabweichungen zeigten, ist ein weiteres Indiz dafür, dass die Pflanzen im Untersuchungszeitraum auf keinem Standort unter Stress standen. Hohe Boden- und Luftfeuchten scheinen die Wirkung höherer Temperaturen zu dämpfen.

Die bei *E. nigrum* und *E. tetralix* gebildeten avoidance-Strukturen (LARCHER 1994) als Schutz gegen Wasserverluste tragen dazu bei, dass die Wasserpotentiale lange auf einem hohen Niveau gehalten werden können. BANNISTER (1964c) konnte in einem Laborversuch zeigen, dass auf trockenen Böden die Transpiration und die relative Turgeszenz bei *E. tetralix* vor allem dann stärker nachlassen, wenn der Welkepunkt erreicht ist. Trockenheit wurde von den Pflanzen nicht gut ertragen, und sie starben bald ab. Auf feuchten Böden blieb die relative Turgeszenz, bei der sich die Stomata schließen, bei *E. tetralix* in seinen Feldversuchen am höchsten.

Im Vergleich zu den Wasserpotentialen zeigten die osmotischen Potentiale keinen ausgeprägten Tagesgang; sie blieben auf einem artspezifisch unterschiedlich hohen Niveau: In *E. tetralix*-Pflanzen wurden deutlich höhere Werte gemessen als in *E. nigrum*-Pflanzen. Die gemessenen osmotischen Potentiale würden demnach eine schlechtere Wasserversorgung der Art vermuten lassen, was jedoch zunächst im Widerspruch zu den anderen Ergebnissen, insbesondere zu der festgestellten hohen Bodenfeuchte steht.

Bei *E. tetralix* lagen die osmotischen Potentiale in der Zeit der hohen Transpirationsraten etwa in Höhe der Wasserpotentiale. Folglich geht *E. tetralix* in der Zeit zwischen etwa 10 und 16 Uhr auch bei ausreichender Wasserversorgung ein größeres Wasserdefizit ein. Die Zellen von *E. nigrum* bleiben bei diesen Bedingungen dagegen ausreichend turgeszent. Offensicht ist *E. tetralix* bereits bei den hier herrschenden Wasserbedingungen nicht ausreichend in der Lage, ihren Wasserhaushalt zu regulieren. Es ergibt sich somit wasserbedingt eine deutliche Grenze für das Vorkommen von *E. tetralix*. Eine weitere Absenkung des Grundwasserstandes würde das Vorkommen dieser Art somit gefährden. Nimmt die Bodenfeuchte im Verlauf des Sommers weiter ab, so ist es für *E. tetralix* schwieriger, niedrigere Wasserpotentiale zu erreichen, um ausreichend Wasser aus dem Boden aufnehmen zu können. Dies ist sicherlich ein Grund, weshalb *E. tetralix* auf feuchte Bereiche beschränkt ist. Das Vorkommen von *E. tetralix*-Beständen und deren Rückgang lässt sich damit mit der Verfügbarkeit von Wasser korrelieren. Weitere Absenkungen des Grundwasserspiegels, z. B. durch Trinkwasserentnahme aus der Süßwasserlinse, würden *E. tetralix* und damit die Pflanzengesellschaften stark gefährden.

## 10. Zusammenfassung

Untersucht wurde der Wasserhaushalt des Empetro-Ericetum. Dazu wurden Boden- und Pflanzenanalysen am natürlichen Standort durchgeführt. Entlang eines Transektes mit hoher Bodenfeuchtigkeit bis hin zu trockenen grundwasserunabhängigen Verhältnissen konnten edaphische und vegetationsökologische Zusammenhänge analysiert werden. Die untersuchten Arten *Erica tetralix* und *Empetrum nigrum* zeigten auf den einzelnen Probestellen deutliche Unterschiede in ihren Wasser- und osmotischen Potentialen.

## 11. Literatur

- ARMBRÜSTER, N. & P. JANIESCH (2001): Wasser und Nährstoffhaushalt grundwasserabhängiger Pflanzengesellschaften der Ostfriesischen Inseln. – Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil 1 **2001**: 111–124.
- ARMBRÜSTER, N. & P. JANIESCH, P. (2003): Pflanzenökologie und Boden. – In: J. PETERSEN, R. POTT, P. JANIESCH & J. WOLFF (Hrsg.): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste: 219–284. Husum Druck- und Verlagsgesellschaft, Husum.
- BANNISTER, P. (1964c): The water relations of certain heath plants with reference to their ecological amplitude. III. Experimental studies: General conclusions. – *Journal of Ecology* **52**: 499–509.
- BARCLAY-ESTRUP, E. (1995): Distribution and some ecological aspects of *Calluna vulgaris* in Canada. – *Journal of Vegetation Science* **5**: 197–204.
- BARKMAN, J. J. (1990): Ecological differences between *Calluna*- and *Empetrum*-dominated dry heath communities in Drenthe, The Netherlands. – *Acta Botanica Neerlandica* **39**: 75–92.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – Merkblätter zur Wasserwirtschaft Nr. 238. Commissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn. 86 S.

- ERNST, W. H. O. (1991): Ökophysiologie von Pflanzen in Küstendünen Europas in einem Gradienten von der Nordsee zum Mittelmeer. – *Berichte der Reinhold Tüxen-Gesellschaft* **3**: 157–172.
- GROOTJANS, A. P., P. S. HARTOG, L. F. M. FRESKO & H. ESSELINK (1991): Succession and fluctuation in a wet dune slack in relation to hydrological changes. – *Journal of Vegetation Science* **2**: 545–554.
- GROOTJANS, A. P., W. H. O. ERNST & P. J. STUYFZAND (1998): European dune slacks: strong interactions of biology, pedogenesis and hydrology. – *Tree* **13**: 96 – 100.
- HOBOMM, C. (1993): Die Pflanzengesellschaften von Norderney. – *Arbeiten aus der Forschungsstelle Küste* **12**: 1–202.
- LACHE, D.-W. (1976): Umweltbedingungen von Binnendünen- und Heidegesellschaften im Nordwesten Mitteleuropas. – *Scripta Geobotanica* **11**: 96 S.
- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen: Leben Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. 5. Aufl. – E. Ulmer, Stuttgart. 394 S.
- LINDHAUER, M. (1980): Wasserpotentiale charakteristischer Pflanzenarten basenreicher und basenarmer Böden und ihre osmotischen Grundlagen. – Dissertation, Fachbereich Biologie, Westfälische Wilhelms-Universität zu Münster i. W. 133 S.
- PETERS, M. & R. POTT (1999): Natur und Tourismus auf Norderney. – *Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde, Beiheft*, **61**: 1–174.
- PETERSEN, J. (2000): Die Dünenalvegetation der Wattenmeer-Inseln in der südlichen Nordsee. Eine pflanzensoziologische und ökologische Vergleichsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzung und Naturschutz. – Husum Druck- und Verlagsgesellschaft, Husum. 205 S.
- PETERSEN, J., R. POTT, P. JANIESCH & J. WOLFF (Hrsg.) (2003): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste. – Husum Druck- und Verlagsgesellschaft, Husum. 384 S.
- POTT, R. (1995): Farbatlas Nordseeküste und Nordseeinseln: Ausgewählte Beispiele aus der südlichen Nordsee in geobotanischer Sicht. – E. Ulmer, Stuttgart. 288 S..
- SCHOLANDER, P. F., H. T. HAMMEL, E. D. BRADSTREET & E. A. HEMMIGSEN (1965): Sap pressure in vascular plants. – *Science* **148**: 339–346.
- SEEDORF, H. H. & H.-H. MEYER (1992): *Landeskunde Niedersachsen*. Bd. 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung. – K. Wachholtz, Neumünster. 517 S.
- STEBING, L. (1965): Pflanzenökologisches Praktikum. Methoden und Geräte zur Bestimmung wichtiger Standortsfaktoren. – Paul Parey, Berlin & Hamburg. 205 S.
- WILMANN, O. (1993): Ericaceen-Zwergsträucher als Schlüsselarten. – *Berichte der Reinhold Tüxen-Gesellschaft* **5**: 91–112.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Peter Janiesch  
 Dipl.-Biol. Ingo Putz  
 Fak. 5, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften  
 Carl v. Ossietzky Universität Oldenburg  
 D – 26111 Oldenburg  
 E-Mail: peter.janiesch@uni-oldenburg.de

