

Ralf GRUNEWALD

## **Auswirkungen des Fremdenverkehrs auf die Dünen- und Spülsaumvegetation auf Rügen und Usedom unter besonderer Berücksichtigung verschiedener Diversitätsindizes**

**Effects of recreational activities on the dune and beach vegetation on Ruegen and Usedom island**

### **Abstract**

During the summer of 2002 the effect of trampling on dunes and beaches on the Islands of Ruegen and Usedom were surveyed and documented. The situation alongside three different pathways leading from parking lots through the dunes onto the beach was studied as well as the effects of trampling on the beach on the annual plant communities along the drift zone. Vegetational plots according to the Braun-Blanquet method were chosen to document plant cover, species richness, and species evenness using a variety of diversity indices. The indices were selected to investigate their sensitivity to human disturbances on dunes (trampling). In general it became clear that the commonly used indices (Shannon, Simpson, Margalef, Evenness) did not show the damage to the plant cover as clearly as the more basic parameters such as 'plant cover' or 'number of species'. This was due to the fact that the indices were calculated using the relative species abundance and not the absolute figures; nevertheless, it could be shown that the damage from trampling is highest immediately next to the official pathways because people are reluctant to walk through deep sand and prefer to walk on the plant cover on the dunes. This leads to the degradation and even destruction of natural dune vegetation with mosses and lichens being most vulnerable. The recent paving of one studied official pathway using plastic tiles and the constructing of a more robust fence may help in reducing further damage and restoring the natural vegetation again at this location. However, it is too early to determine whether or not this has been successful. On the beach the annual plant communities growing on the organic deposits along the drift zone were analyzed and different effects of trampling could also be documented depending on the different numbers of visitors at the two sites studied.

**Keywords:** tourism, trampling, biodiversity, diversity indices, Mecklenburg-Vorpommern, Northeastern Germany, Baltic Sea

# 1 Einleitung

Die Gebiete um die Pommersche Bucht haben ökonomisch bisher unter der innereuropäischen Randlage an der EU-Grenze zwischen Deutschland und Polen gelitten. In den letzten Jahren nimmt der Fremdenverkehr, als eine der wenigen Wachstumsbranchen, wirtschaftlich eine immer wichtiger werdende Stellung in der sonst strukturschwachen Region ein. Zukünftig ist mit einem weiteren Ansteigen der Besucherzahlen nach dem Beitritt Polens zur EU zu rechnen, wobei insbesondere für Pole kein Ansteigen der Tourismusintensität erwartet wird. Der Strand- und Badetourismus spielt hierbei eine zentrale Rolle, so dass sich die Besucherströme in den Sommermonaten vor allem auf die flachen Sandstrände der holozänen Nehrungen konzentrieren. Diese sind wiederum aus Sicht des Naturschutzes, aber auch aus Sicht des Hochwasserschutzes, sehr sensibel und schutzbedürftig.

Schon zum Ende des 19. Jahrhunderts wurde in der wachsenden Bürgerschicht der Strand- und Badeurlaub zunehmend populär und es kommt seitdem zu teilweise starken Zerstörungen innerhalb der Dünen. Arbeiten von KLEWE (1979), JESCHKE (1985), PIOTROWSKA (1989), ISERMANN (1993), ISERMANN & KRISCH (1995) haben sich bereits mit dieser Thematik beschäftigt und teilweise Schäden dokumentiert und untersucht. Heute sind in Deutschland und auch in Polen die so genannten Hochwasserschutzdünen nicht öffentlich betretbar. Obwohl das Wissen um die Trittempfindlichkeit der Dünen bei den Strandbesuchern weit verbreitet zu sein scheint und Schilder an den Strandzugängen bzw. am Fuß der Weißdünen zusätzlich auf das Betretungsverbot hinweisen, ist eine gewisse Diskrepanz zwischen Wissen und tatsächlichem Handeln zu beobachten. Zahlreich finden sich Trampelpfade, wilde Strandübergänge und „Toilettengebüsche“ auf den Dünen.

Auf den Dünen finden sich Trittschäden zwischen Parkplatz und Strand, zwischen Strand und „Toilettengebüsch“ (in den Dünen) sowie durch küstenparallel verlaufende Trampelpfade. Als vierte Kategorie kann man all jene Trittschäden zusammenfassen, die auf dem Strand selbst stattfinden. Das Lagern und Sonnenbaden verhindert bzw. zerstört besonders im oberen Strandbereich und am Weißdünenfuß junge initiale Dünenstadien. Zusätzlich schädigt das Ballspielen, Radfahren, Spazieren die eventuell vorhandene Spülsaumvegetation im mittleren Strandbereich. Allerdings ist das komplette Fehlen von Vordünen- oder Spülsaumgesellschaften nicht ohne weiteres alleine auf den Tourismus rückführbar, sondern wird wesentlich durch die natürliche Sedimentbilanz des Strandabschnittes beeinflusst.

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich vor allem auf die so genannten offiziellen Strandübergänge und ihr direktes Umfeld. Obwohl diese zumeist deutlich markiert und beschildert sind, weichen die Besucher oftmals auf die offene Düne aus und schädigen oder zerstören dort die Pflanzendecke. Ziel war es, Unterschiede zwischen verschiedenen stark frequentierten und unterschiedlich ausgestatteten Strandübergängen bzw. Spülsäumen zu dokumentieren und Trittschäden quantitativ zu erfassen. Hierzu sollte vor allem die Nutzbarkeit verschiedener Diversitätsindizes geprüft werden.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Untersuchungsgebiete**

Die Untersuchungsflächen liegen auf Rügen und Usedom. Verglichen wurden Aufnahmen an drei verschiedenen Strandzugängen im nördlichen Bereich der Schmalen Heide (Rügen). Zusätzlich wurden die Trittschäden innerhalb eines Spülsaums, an einem stark frequentierten Strand nördlich des Badeortes Karlshagen (Usedom) sowie einem Spülsaum an einem weniger stark genutzten Strandabschnitt in der Nähe untersucht.

### **2.2 Vorgehensweise**

Die Vegetationsuntersuchungen wurden zwischen Mai und September 2002 durchgeführt und basieren auf Vegetationsaufnahmen nach BRAUN-BLANQUET (1962, zit. nach HAEUPLER, 1982) und der nach BARKMAN (BARKMAN et al. 1964) veränderten Aufnahmeskala.

Die jeweiligen Aufnahmeflächen auf den Dünen hatten die einheitliche Größe von 16 m<sup>2</sup>. Da die Trittbelastung mit zunehmender Entfernung vom Weg abnimmt, wurden drei Flächentransekte von jeweils 2 m Breite und ca. 40 m Länge parallel zum Strandzugang angelegt. Über Vegetationsaufnahmen (jeweils 2 x 8 m) wurde die Pflanzendecke (Flechten, Moose und Gefäßpflanzen) und somit die Schädigung dokumentiert. Zusätzlich wurde in ausreichender Entfernung ein weiterer Streifen mit Aufnahmeflächen angelegt, um dadurch auch den Vergleich mit fehlender oder niedriger Trittbelastung zu ermöglichen.

Für die Untersuchungen der Spülsäume wurde eine küstenparallele Fläche von 4 x 30 m im Bereich der dichtesten Spülsaumvegetation abgesteckt. Alle 2 m wurde nun eine Vegetationsaufnahme durchgeführt, so dass 15 Aufnahmen bei Flächengrößen von jeweils 8 m<sup>2</sup> entstanden.

Die Daten wurden später in eine Datenbank (MS-Access) eingegeben und die Auswertung bzw. Berechnung der Diversitätsindizes erfolgte mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (MS-Excel). Berechnet wurden die Indizes nach Margalef (Artenreichtum), Evenness (relative Abundanz der Arten), sowie die kombinierten Indizes nach Shannon & Wiener sowie nach Simpson (siehe dazu auch: MAGURRAN 1988, GRUNEWALD 2002).

Während sich die Gesamtartenzahl direkt aus den Vegetationsaufnahmen ergibt, stellt sich für die Arthäufigkeit die Frage nach der Methode. HAEUPLER (1982) benutzt in seiner Habilitationsarbeit die Schätzskala der Artmächtigkeiten nach BRAUN-BLANQUET (1962, zit. nach HAEUPLER, 1982). Diese Skala setzt sich aus Klassen zusammen die teilweise auf Auszählen der Individuen (seltene Arten) oder aber auf Schätzungen der Deckungsgrade beruht. Andere Möglichkeiten sind das Sammeln und Bestimmen des Trockengewichtes aller vorkommenden Pflanzenarten in einer Probefläche oder das komplette Auszählen der Individuen.

**Tabelle 1** Vergleich der Schätzskalen von BRAUN-BLANQUET (1962) und BARKMAN et al. (1964) sowie die zugeordneten Dominanzklassen zur Index-Berechnung

BRAUN-BLANQUET (1962)	Erläuterung	Dominanzklassen nach HAEUPLER (1982)	Schätzskala nach BARKMAN et al. (1964)	Dominanzklassen (eigener Vorschlag)	Erläuterung
r	lediglich ein Individuum in der Fläche	0,01	r	0,01	sporadisch vorhanden im ganzen Assoziationsbestand
+	wenige Individuen und nur geringe Flächenanteile deckend	0,2	+r	0,20	sporadisch (1 - 2 Individuen) im Minimumareal bzw. in der Probefläche
			+p	0,50	wenig zahlreich (etwa 3-20 Ind. Pro Min.-areal) Bedeckung < 1 %
			+a	1,50	dito, aber 1 - 2 %
			+b	3,50	dito, aber 2 - 5 %
			1p	1,00	zahlreich (etwa 20-100 Ind. Pro Min.-areal), Bedeckung < 1 %
1	zahlreiche Individuen, aber mit geringen Deckungsgrad, oder wenige Individuen mit größerem Deckungsgrad	2,5	1a	1,50	dito, aber 1 - 2 %
			1b	3,50	dito, aber 2 - 5 %
			2m	3,50	sehr zahlreich (> 100 Ind. Pro Min.-areal), Bedeckung < 5 %
2	zahlreiche Individuen oder mindestens 10 % bis 25 % der Probefläche	15	2a	8,50	Individuenzahl egal, 5 - 12,5 %
			2b	19,25	dito, 12,5 - 25 %
3	25 % bis 50 % der Aufnahmefläche deckend, Individuenzahl beliebig	37,5	3a	31,25	dito, 25 - 37,5 %
			3b	43,75	dito, 37,5 - 50 %
4	5 - 75 % der Aufnahmefläche deckend, Individuenzahl beliebig	62,5	4a	56,25	dito, 50 - 62,5 %
			4b	68,75	dito, 62,5 - 75 %
5	mehr als 75 % der Aufnahmefläche deckend, Individuenzahl beliebig	87,5	5a	81,25	dito 75 - 87,5 %
			5b	93,75	dito 87,5 - 100 %

Beide Alternativen scheiden aufgrund des Zeitaufwandes, der nur einmal möglichen Beprobung und der Probleme, Individuen klar zu trennen und zu zählen (z. B. bei Gräsern, ausläuferbildenden Arten), aus. Stattdessen wurde folgende Vorgehensweise angewendet: Die weit verbreitete Mengenskala von BRAUN-BLANQUET wird von HAEUPLER (1982) schematisch in eine Dominanzskala umgerechnet, für die er jeweils den mittleren Deckungsgrad jeder Klasse nimmt. Für die Umrechnung der niedrigen Werte (< 1 % Deckung) legt er dagegen „subjektiv“ die Werte fest. Die Gesamtdeckung (analog zu „Gesamtzahl aller Individuen“) wird durch das Addieren der einzelnen Artmächtigkeiten erreicht, die somit deutlich über 100 % liegen kann. Die Dominanzskala von HAEUPLER (1982) wurde nun für die erweiterte BRAUN-BLANQUET-Skala nach BARKMAN et. al. (1964) ergänzt, so dass sich die in Tabelle 1 dargestellten Dominanzklassen ergeben, die für die jeweilige Indexberechnung genutzt wurden.

### **3 Ergebnisse**

#### **3.1 Charakterisierung der Untersuchungsgebiete**

##### **Mukran-alt:**

Stark benutzter Übergang am Parkplatz Mukran (Abb. 1). Der Zaun ist teilweise zerstört bzw. sehr niedrig (30 – 40 cm) und kann daher leicht überwunden werden. Große Bereiche jenseits des Zaunes sind daher vegetationslos.

##### **Mukran-neu:**

Stark benutzter Übergang am Parkplatz Mukran (Abb. 2). Der Zaun wurde im Jahr vor den Untersuchungen erneuert und erhöht (ca. 80 – 90 cm). Allerdings können Besucher relativ leicht unter dem Zaun hindurch laufen (strandparalleler Trampelpfad). Der Zugang selbst wurde mit Plastikwaben befestigt, so dass die Strandbesucher effektiv vom Ausweichen auf die geschützte Düne abgehalten werden.

##### **Prora-Nord:**

Bereich des ehemaligen KDF-Bades zwischen den Ruinen und den fertig gestellten Bauten (Abb. 3). Parkplätze sind relativ weit entfernt und Hinweisschilder fehlen (alter Strandzugang, der nicht mehr unterhalten wird). Relativ geringes Besucheraufkommen, keine Zäune oder neuere Wegbefestigungen.

##### **Spülsaum Usedom:**

Die untersuchten Spülsäume liegen zwischen dem Strandbad Karlshagen und dem Sperrgebiet und NSG „Peenemünder Haken, Insel Struck und Ruden“. Ein stark geschädigter Spülsaum liegt in der Verlängerung eines Strandzuges am Parkplatz Peenemünder Sperrgebiet (Abb. 4). Dieser Strandabschnitt ist während der Saison sehr stark besucht. In etwa 300 m Entfernung befindet sich in südlicher Richtung der zweite untersuchte Spülsaum, der deutlich weniger stark durch Tritt geschädigt ist.



**Abb. 1:** Übergang „Mukran – Alt“, der niedrige Zaun und das NSG-Schild (rechts vom Zaun) können das Betreten der Düne nicht verhindern



**Abb. 2:** Zugang „Mukran Neu“, die Befestigung des Weges und die Neugestaltung des Zaunes könnte in Zukunft die Trittschäden minimieren



**Abb. 3:** Übergang „Prora – Nord“ (keine Abzäunung, aber aufgrund der schlechten Erreichbarkeit deutlich weniger Trittschäden, starke natürliche Sandakkumulation im Hintergrund)



**Abb. 4:** Spülsaumvegetation auf Usedom, nördlich Karlshagen (im Vordergrund durch Tritt zerstörter Spülsaum mit „fahrbarem Imbissstand“)

### 3.2 Ergebnisse der Dünenuntersuchungen

Die Sukzessionsreihe entlang einer ungestörten Dünenabfolge von Primär- über Sekundär- hin zu Tertiärdünen ist prinzipiell durch steigende Artenzahlen, Deckungsgrade und schließlich auch durch Diversitäten gekennzeichnet (Tabelle 2 + 3: Spalten „Transekt-ungestört“). Abweichungen von diesem Schema finden sich jedoch häufig, wobei die Exposition (Dünental, Dünenplateau, Nordhang, Südhang), das Alter sowie das Umfeld der Dünenkomplexe oftmals deutlichen Einfluss auf die Artenzusammensetzung haben. Braundünengesellschaften (im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden) sind dann wieder von niedrigeren Artenzahlen gekennzeichnet. Diese natürlichen Vegetationsmuster entlang der unterschiedlich alten Dünen werden auf den untersuchten Flächen von den anthropogen bedingten Veränderungen überlagert. Allerdings ist auch hier noch eine Zunahme der Artenzahlen (insbesondere der Moose und Flechten) von den Sekundär- zu den Tertiärdünen zu beobachten, die umso deutlicher hervortritt, je weniger Trittschäden vorhanden sind (Tabelle 2).

An allen Übergängen sowie am Spülsaum kann eine Abnahme der Trittschäden bzw. Zunahme der Vegetationsbedeckung mit zunehmender Entfernung vom Strandzugang beobachtet werden, die sich meist auch in den steigenden Artenzahlen widerspiegelt. Diese Veränderungen verlaufen jedoch nicht immer kontinuierlich, sondern neben dem eigentlichen Weg existiert häufig ein schmaler Bereich weniger gestörter Vegetation an den sich dann ein Bereich höchster Trittschäden anschließt. Dieses ist auf die sekundäre Sandakkumulation im Luv und Lee der Strandzugänge zurückzuführen, so dass die Besucher nicht am Hang, sondern auf der ebenen Graudüne laufen. Von dem Bereich höchster Schäden findet dann ein langsamer Rückgang der Beeinträchtigungen mit zunehmender Entfernung vom Strandübergang statt. Hierbei zeigt insbesondere das Vorkommen von Moosen und Flechten einen deutlich niedrigeren Störungsgrad an (Tabelle 2). Insgesamt wird die Vegetation dichter, höher und die Artenzusammensetzung deutlich diverser.

Die berechneten Diversitätsindizes zeigen im Verlauf des untersuchten ungestörten Transektes (Tabelle 3) einen z. T. deutlich steigenden Gradienten vom Meer in Richtung Land. Ein Anstieg ist ebenfalls oft mit zunehmender Entfernung vom Strandzugang zu beobachten. Im Bereich des auf den Strand führenden Trampelpfades und von sonstigen Störstellen (Übersandung) sind dagegen Rückgänge der jeweiligen Indexwerte zu erkennen. Die unterschiedlichen Störungsintensitäten können teilweise ebenfalls an den untersuchten Strandübergängen beobachtet werden (Tabelle 3), wobei die Aussagen etwas schwieriger zu interpretieren und weniger deutlich sind. Insgesamt bewegen sich die Indizes an den Übergängen zumeist auf einem niedrigeren Niveau als jene entlang des untersuchten ‚ungestörten‘ Transektes.



**Tabelle 3** Übersicht der berechneten Diversitätsindizes ( - = keine Daten), die Aufnahmen liegen jeweils östlich zum zugehörigen Strandzugang (Größe: 2 x 8 m)

Entfernung vom Strandzugang [m]	Transekt (ungestört)	Übergang „Prora-Nord“			Übergang „Mukran Neu“			Übergang „Mukran Alt“		
		0-2	2-4	4-6	0-2	2-4	4-6	0-2	2-4	4-6
<b>Margalef</b>	>40									
		3,59	2,44	3,40	3,02	3,29	2,89	3,75	3,20	4,05
		4,93	2,72	3,64	2,69	3,69	2,32	2,94	3,90	3,96
		3,88	2,65	3,39	3,16	3,95	5,90	3,99	5,13	3,22
		5,68	3,88	5,60	5,23	4,93	5,79	2,40	3,58	-
	6,23	-	-	-	-	-	0	4,40	-	
<b>Evenness</b>		0,78	0,94	0,89	0,82	0,83	0,76	0,74	0,73	0,60
		0,82	0,81	0,70	0,72	0,58	0,74	0,65	0,81	0,80
		0,72	0,68	0,83	0,75	0,89	0,83	0,82	0,78	0,85
		0,87	0,92	0,89	0,85	0,80	0,78	0,85	0,75	-
		0,73	-	-	-	-	-	0	0,80	-
<b>Shannon</b>		1,92	2,06	2,41	1,80	1,91	1,76	2,10	1,98	1,76
		2,28	1,87	2,03	1,29	1,40	1,54	1,72	2,25	2,35
		2,11	1,62	2,25	1,65	2,51	2,66	2,38	2,35	2,24
		2,85	2,65	2,98	2,17	2,30	2,52	1,77	2,02	-
		2,44	-	-	-	-	-	0	2,42	-
<b>Simpson</b>		0,81	0,87	0,90	0,80	0,82	0,78	0,83	0,80	0,70
		0,86	0,82	0,81	0,63	0,62	0,74	0,69	0,87	0,88
		0,79	0,74	0,84	0,76	0,90	0,91	0,89	0,87	0,88
		0,93	0,90	0,90	0,83	0,86	0,90	0,82	0,80	-
		0,85	-	-	-	-	-	0	0,88	-

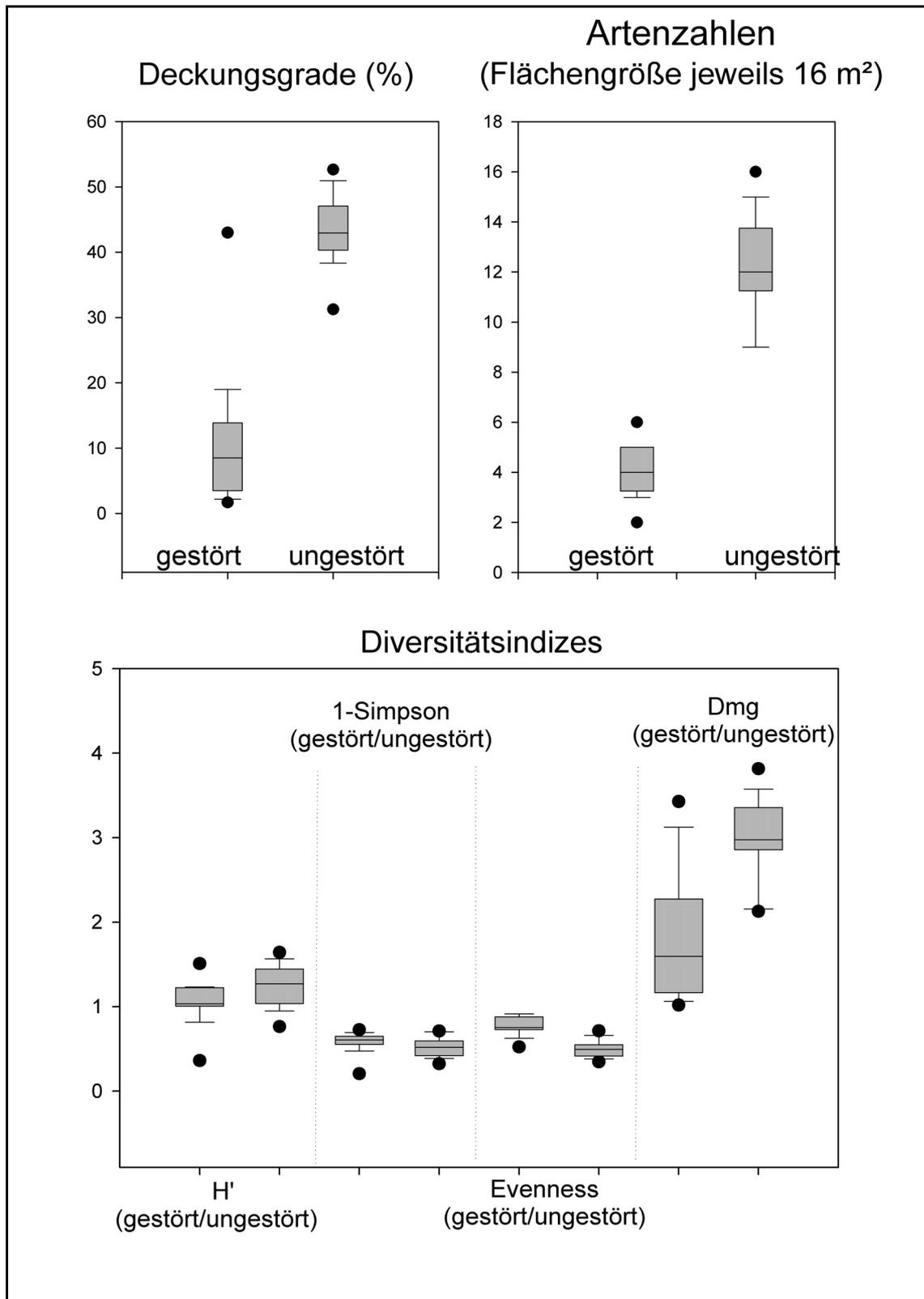
Zusätzlich zu den auf den Strand führenden Trampelpfaden zieht sich ein strandparalleler Dünentrampelpfad fast die gesamte Küste der Schmalen Heide entlang. Dieser wird zwar von Zäunen an den Strandübergängen deutlich sichtbar versperrt, allerdings sind diese oftmals zerstört. Der Pfad wird sowohl zum Spazieren als auch zum Radfahren (!) genutzt und läuft oftmals dicht an der Kante zum Kieferndünenwald entlang. Im Umfeld der Übergänge verbreitert sich die „Trittzzone“ des Trampelpfades und führt in Kombination mit den Schäden des Strandübergangs zu teilweise großflächig fast vegetationslosen Flächen (Abb. 2).

### 3.3 Ergebnisse der Spülsaumuntersuchungen

Während die vorhandenen Spülsäume im Vorfeld der auf Rügen untersuchten Strandübergänge nur sehr schwach ausgebildet sind, entwickeln sich auf Usedom teilweise bis zu 8 m breite Spülsäume. Diese werden nicht nur von Touristen geschädigt, sondern werden zusätzlich von fahrenden Eis- und Wurstverkäufern auf ATV's (= All Terrain Vehicle, Abb. 4) und von den Müllsammelkolonnen der Strandbäder beeinträchtigt. Im unmittelbaren Bereich der Strandbäder verhindert ein intensives Strandmanagement (maschinelles Harken und Rechen des Strandes zur Beseitigung von Müll und angespülten Pflanzenresten) die Entwicklung eines Spülsaumes und der Strand ist von der Wasserlinie bis zum Dünenschutzzaun am Fuß der Weißdüne praktisch vegetationslos.

Auf dem untersuchten Strandabschnitt auf Usedom ergibt sich folgendes Bild (Abb. 5 A-C). Die Vegetation des Spülsaumes wird in der direkten Verlängerung des Strandzugangs erheblich durch Tritt geschädigt bzw. in einem ca. 50 m breiten Streifen fast vollständig zerstört. Nach rechts und links nehmen die Trittschäden kontinuierlich ab (Abb. 4). Der untersuchte, 30 m lange Abschnitt beginnt etwa 20 m südlich des Zugangs in einem Bereich sehr schütterer Vegetation, die mit zunehmender Entfernung zum Zugang langsam zunimmt. Die ungestörten Flächen zeigen hier deutlich höhere Deckungsgrade und Artenzahlen (Abb. 5 A + B, Mann Whitney U,  $p < 0,001$ ,  $\alpha = 0,05$ ).

Analog zu den Parametern Deckungsgrad und Artenzahl (Abb. 5 A + B) wurden die Flächen auch hinsichtlich ihrer Diversität untersucht. Die größten Unterschiede zeigen sich beim Index  $D_{mg}$  (Margalef), der deutlich höhere Diversitäten (Artenreichtum) für die ungestörten Flächen angibt (Abb. 5 C, Mann Whitney U,  $p < 0,001$ ,  $\alpha = 0,05$ ). Ähnlich, aber weniger deutlich, ist der Trend bei dem Index  $H'$  (Shannon,  $p < 0,027$ ,  $\alpha = 0,05$ ), der sowohl den Artenreichtum als auch die Gleichverteilung der Arten berücksichtigt. Auch zur Berechnung des Simpson-Indexes werden beide Komponenten der Diversität (Artenreichtum und Evenness) benutzt, allerdings wird die Evenness stärker gewichtet und die gestörten Flächen haben demnach eine signifikant höhere Diversität (1-Simpson,  $p < 0,036$ ,  $\alpha = 0,05$ ). Noch deutlicher wird der Unterschied bei alleiniger Betrachtung der Evenness (Gleichverteilung), die ebenfalls eine signifikant niedrigere Diversität den ungestörten Flächen zumisst ( $p < 0,001$ ,  $\alpha = 0,05$ ).



**Abb. 5:** Darstellung der Ergebnisse der Spülsaumuntersuchungen in Form von Box & Whiskers Plots mit N=15, Median, 2. und 3. Quartil (Box), Extremwerten und Ausreißern

## 4 Diskussion

### 4.1 Dünen

Das Arteninventar der Dünen gibt einen guten Hinweis auf die Störungen. Insbesondere ist der Rückgang bzw. das Fehlen von Flechten und Moosen auffällig und bei sehr starken Störungen können nur noch die robusten Pflanzen (z. B. *Artemisia campestris* agg. L., *Hieracium umbellatum* L., u. a.) eine gewisse Zeit überleben. Diese Pflanzen sind jedoch ebenfalls stark mechanisch geschädigt und können sich kaum noch vegetativ oder über Samenbildung vermehren. Annuelle Arten mit einer sehr zeitigen Blüh- bzw. Fruchtphase können ebenfalls noch einige ansonsten stark gestörte Standorte kurzzeitig besiedeln, da ihr Lebenszyklus nicht oder nur kaum mit dem Hauptaufkommen der Besucher im Sommer überlappt. Im hinteren Bereich (ältere Graudüne) wären eigentlich mit die höchsten Artenzahlen und Deckungsgrade zu erwarten, aber die Vegetation ist fast vollständig zerstört.

Die verschiedenen Indizes eignen sich unterschiedlich gut für die Untersuchung der Trittschäden auf den Dünen:

Die stark ansteigenden Indizes entlang des ‚ungestörten‘ Transektes reflektieren die fortschreitende Sukzession, die im Untersuchungsgebiet auch an den steigenden Artenzahlen und Deckungsgraden von den Weißdünen zu den Graudünen ablesbar ist. Für die Untersuchung der Trittschäden sind jedoch die Veränderungen der Indizes in Abhängigkeit von der Entfernung zum Strandzugang entscheidender. Die Indizes Shannon und Margalef haben einen recht ähnlichen Verlauf und zeigen vor allem im hinteren Dünenbereich ein Ansteigen der Diversität mit zunehmender Entfernung vom Zugang an. Besonders deutlich wird dieses beim Vergleich mit dem zusätzlich aufgenommenen Transekt abseits der Übergänge. Während Margalef, als Index für Artenreichtum, lediglich mit der summierten Gesamtdeckung arbeitet, ist das größte Problem bei der übrigen Indexberechnung die Umrechnung der Deckungsgrade in relative Abundanzen. Dadurch fällt die Information „absoluter Deckungsgrad“ weg. Daraus folgt wiederum, dass verhältnismäßig viele Arten bei niedrigen Gesamtdeckungen (= hohen Trittschäden) zu hohen Index-Ergebnissen (Margalef, Shannon & Wiener, Simpson) führen. Der Index steigt zudem in die Höhe, da die vergleichsweise vielen Arten jeweils niedrige Deckungen und somit eine hohe Evenness (= Gleichverteilung) haben (Evenness, Shannon & Wiener, Simpson). Hierdurch wird die Interpretation der Indizes erheblich erschwert und die „einfachen“ Parameter Gesamtdeckung und Artenanzahl zeigen die Unterschiede viel schärfer an (Tabelle 2).

Die Interpretation der Evenness bereitet auch theoretisch einige Schwierigkeiten. HAEUPLER (1982: 140) nennt niedrige Evenness-Werte kennzeichnend für bestimmte „naturnahe Formationen“. Oftmals sind es Pflanzenbestände, die vor allem von einer oder nur wenigen Arten dominiert werden. Hohe Evenness-Werte sind dagegen kennzeichnend für viele anthropogen oder zoo-anthropogen beeinflusste Gesellschaften, die „mehr oder weniger ständigen Störungen unterliegen wie Strandwälle, Auenwälder und –gebüsche oder Felsbandrasen“ (HAEUPLER 1982: 143). Wenn dieser Aspekt auch bei der Interpretation der hier untersuchten Flächen berücksichtigt wird, so können folgende Thesen formuliert werden (die sich teilweise jedoch widersprechen):

- Weißdünen sind ständigen (natürlichen) Störungen bzw. harten Umweltbedingungen ausgesetzt und müssten daher (analog zu Strandwällen, s. o.) eine hohe Evenness haben
- Weißdünen werden vor allem von jeweils einer Strandhafer-Sippe dominiert und haben daher eine niedrige Evenness
- Trittschäden haben einen ständigen Störeinfluss auf die Vegetation der Graudünen, daher haben trittgestörte Graudünen eine hohe Evenness
- Extreme Trittschäden führen zu einem Rückgang der Evenness

Am besten lassen sich diese Widersprüche auflösen, wenn man davon ausgeht, dass niedrige bis mittlere Störintensitäten („Intermediate Disturbance“), in natürlichen oder naturnahen Pflanzengesellschaften zunächst zu einem Ansteigen der Diversitäten (meist Artenzahlen) führen (z. B. DIERßEN & KIEHL 2000), die dann aber bei weiter steigendem Störungsgrad rapide zurückgehen. Die (natürlichen) Störungen der Weißdünen sind jedoch so stark, dass sich kaum andere Arten dort halten können (Extremlebensraum). Dieses unterschiedlich zu interpretierende „Verhalten“ der Evenness erschwert die Arbeit auch mit den Indizes nach Shannon und nach Simpson, die die Evenness als einen Strukturparameter der Diversität mit berücksichtigen.

Eventuell wären auch teilweise schmalere bzw. kleinere Aufnahmeflächen sinnvoll, um die Veränderungen in der Vegetation feiner aufzulösen (z. B. schmale Trampelpfade). Zur Vergleichbarkeit der Indizes ist hier jedoch eine einheitliche Flächengröße notwendig. Die deutlichen Aussagen, die mit Hilfe der Parameter Deckung und Artenzahlen getroffen werden können, zeigen ebenfalls, dass die Flächengröße für die Fragestellung ausreichend klein gewählt wurde.

## 4.2 Spülsäume

Während die Parameter Artenzahlen und Deckung die Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Spülsaumabschnitten sehr deutlich wiedergeben, zeigt sich das Bild bei der Auswertung der Diversitätsparameter etwas differenzierter.

Die Abbildung 5 A - C zeigt die „Box and Whiskers“ Plots der verschiedenen untersuchten Parameter. Dabei wird folgendes deutlich: Der ungestörte Spülsaum ist beim Deckungsgrad durch eine geringere Variabilität der Index-Werte auf einem deutlich höheren Niveau gekennzeichnet und bewegt sich bei den Parametern Margalef ( $D_{mg}$ , Artenreichtum) und Shannon & Wiener ( $H'$ ) auf einem signifikant höheren, bei Simpson und bei der Evenness auf einem signifikant niedrigeren Niveau. Dieses verdeutlicht, dass der Faktor „Evenness“ beim Index nach Simpson höher gewichtet ist, als der Artenreichtum: Die Verhältnisse beim Parameter Evenness kehren sich um und während  $H'$  noch etwas höhere Werte für die ungestörten Spülsaumbereiche anzeigt, liegen die Simpson-Werte (insbesondere der Median) auf einem niedrigeren Niveau. Sowohl MAGURRAN (1988: 39) als auch LAMPERT & SOMMER (1993) bestätigen dieses und bezeichnen Simpson auch als Dominanz-Index, der vor allem das Vorkommen der häufigsten Arten stark gewichtet. Die niedrigen Evennesswerte lassen sich beim ungestörten Spülsaum vor allem mit der Dominanz der Gänsefußgewächse (Gänsefuß, Melden) und dem Auftreten

etlicher Arten mit nur sehr wenigen oder Einzelpflanzen in einigen Bereichen erklären. Diese Dominanzstruktur wird mit den Trittschädigungen aufgebrochen und insbesondere die seltenen Arten verschwinden.

### **4.3 Schädigungen und Maßnahmen**

Das Schadensbild auf den Dünen und am Strand selbst reicht von leicht geschädigter Vegetation über stärker geschädigte Flächen zu nahezu vollkommen zerstörten, offenen Störstellen mit lockerem Sand.

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass außerhalb der Badeorte die beobachteten Schäden stark von der Lage der Strandübergänge, der Instandhaltung und Art der Zäune bzw. des Bodenbelags abhängen. Übergänge (z. B. Übergang „Prora-Nord“), die in einiger Entfernung von Parkplätzen liegen, werden weniger stark frequentiert und die Störungen sind relativ niedrig. Sind keine, niedrige oder gar verfallene (bzw. zerstörte) Zäune vorhanden und muss tiefer lockerer Sand durchschritten werden, so weichen die Besucher stark auf die noch bewachsenen (eigentlich gesperrten) Dünenflächen aus (Übergänge „Mukran-Alt“ und vor dem Zaunneubau auch „Mukran-Neu). Hierbei wird die Vegetationsdecke zerstört und die Besucher weichen immer weiter auf die Dünen aus, um noch bequem über Pflanzen und nicht durch tiefen Sand zu laufen. Die Schäden sind am größten, wenn versucht wird, Fahrrad zu fahren (Abb. 3).

An einigen Strandzugängen im NSG „Schmale Heide mit Steinfeldern – Erweiterung“ wurden so genannte Plastikwaben als Bodenbelag verlegt sowie ein neuer stabiler Zaun aufgestellt (Abb. 2). Es hat den Anschein, dass sich die Vegetation auf den teilweise komplett zerstörten Dünenflächen langsam erholt. Dieses würde explizit den in §3 der Naturschutzgebietsverordnung für das NSG „Schmale Heide mit Feuersteinfeldern – Erweiterung“ genannten Schutzziele entsprechen. Hier wird als wichtigstes Pflege- und Entwicklungsziel die „durchgängige und eindeutige Kennzeichnung und Abgrenzung des Naturschutzgebietes im Gelände und Regulierung des Strandurlauberverkehrs“ genannt (GS Meckl. – Vorp. GL. Nr. 791-1-37). Allerdings ist die Zeit für eine Erholung der Flächen bislang noch nicht ausreichend, um endgültige Aussagen über Erfolg oder Misserfolg zu treffen. Zudem werden die Absperrungen und Hinweisschilder stark beschädigt oder zerstört und es konnte auch mehrmals wildes Zelten im NSG beobachtet werden. Befragungen von „Wilden Campern“ in einem NSG am Strand von Usedom ergaben, dass sie auch nach neun Tagen Zeltens auf der Düne weder kontrolliert noch zum Verlassen aufgefordert worden waren.

Das deutlich unterschiedliche Bild, das die Trittschäden innerhalb der Badeorte und entfernter gelegenen Badestränden (mit PKW-Parkplätzen) ergeben, lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- aufgrund der hohen Dichte von Strandzugängen in den Badeorten sind wilde Trampelpfade an den Strand nicht notwendig;
- zahlreiche und gut unterhaltende Toiletten machen den Gang in die zudem gut einsehbaren Dünen überflüssig;
- die soziale und institutionalisierte Kontrolle (auch durch Rettungsschwimmer) innerhalb der Seebäder verhindert Trittschäden auf den Sekundär- und Tertiärdünen;
- die gut gepflegten Zäune oder Hecken (möglichst mit indigenem Pflanzgut) innerhalb der Badeorte sind deutlich effektiver als die oftmals zerstörten oder verfallenen Zäune abseits der Seebäder;
- die Nutzung von Plastikwaben (oder noch besser: Holzbohlen) zur Befestigung der Dünenzugänge kann ein Ausweichen der Besucher auf die (noch) vegetationsbedeckten Dünen neben dem Weg effektiv verhindern, das Spaziergehen (strandparallel) jedoch nicht;
- die Verwendung von Heu oder anderem Mähgut zur Befestigung der Wege muss abgelehnt werden, da dadurch zahlreiche Samen von für die Dünen untypischen Pflanzen auf die Dünen gelangen und mit dem erhöhten Nährstoffangebot durch das Mähgut sich eventuell zusätzlich andere, meist nährstoffliebende Arten ansiedeln können (PETERS & POTT 1999: 135);
- das intensive Strandmanagement verhindert jegliche Spülsaumvegetation;
- die direkt an den strandseitigen Hangfuß der Weißdüne (Hauptdüne) angrenzenden Zäune verhindern nicht die Zerstörung möglicher, im oberen Strandbereich stattfindender Primärdünenbildungen, so dass daraus geschlossen werden kann, dass die bestehenden oder neu zu setzenden Zäune weiter seewärts stehen sollten.

Hieraus lässt sich ableiten, dass eine weitere Aufklärung der Besucher wünschenswert ist, dies aber durch eine ständige Instandhaltung und regelmäßige Überprüfung des Urlauberverhaltens in der Saison ergänzt werden müsste.

## **5 Zusammenfassung und Ausblick**

Die Untersuchungen zeigen sehr deutlich die Unterschiede zwischen den verschiedenen Standorten auf. Die Nutzung von Biodiversitätsindizes ist mit einigen interpretatorischen Schwierigkeiten verbunden, unterstützt aber die Ergebnisse, die auch teilweise „mit bloßem Auge“ bzw. über die Abschätzung der Deckung gut bemessen werden können. Die Schäden auf den Dünen finden sich vor allem im direkten Umfeld der offiziellen Strandübergänge und insbesondere dort, wo niedrige, zerfallene oder zerstörte Zäune das Ausweichen der Besucher vom losen Sand der Übergänge auf die vegetationsbedeckte Düne erleichtern (insbesondere auch mit Fahrrädern). Eine Befestigung der Übergänge mit Plastikwaben (oder Holzbohlen) stellt eine sinnvolle Maßnahme dar, um das Betreten der Dünen zu vermeiden,

allerdings ist zusätzlich die ständige Wartung und Pflege der Zäune und der Beschilderung von hoher Wichtigkeit. Trittschäden durch Besucher sind an den durch Parkplätze erschlossenen Badestränden deutlich höher als an abgelegenen Badestränden sowie in den Badeorten. Andererseits sind aufgrund der besonders hohen Strandzugangsdichte die effektiv zerstörten Dünenbereiche in den Badeorten und in den stark frequentierten Badestränden (mit PKW-Parkplätzen) vermutlich ähnlich hoch. Das Potenzial für nahezu ungestörte Dünen ist in den Seebädern zwar aufgrund der höheren sozialen und institutionalisierten Kontrolle deutlich höher, jedoch sind hier durch gärtnerische Tätigkeiten starke Veränderungen des natürlichen Dünenbewuchses zu beobachten. Diese und ähnliche Störungen, welche auf einen verstärkten Nährstoffeintrag (Toilettengebüsch) oder Anpflanzungen in die Dünen (Hochwasserschutz, „Dünenverschönerung“) zurückzuführen sind, sollen bei weiteren Arbeiten im Zuge des Promotionsvorhabens stärker berücksichtigt werden. Einen weiteren Problemkreis stellt die Bewertung bzw. die Dokumentation der Trittschäden an Primär- und Sekundärdünen (Vor- und Weißdünen) dar. Insbesondere geht es dabei um die Bewertung des Fehlens oder Vorhandenseins dieser Dünenformen und um die Frage, ob natürliche Prozesse dominierend sind oder der intensive Fremdenverkehr die Neubildung von Dünen verhindert.

### Literatur

- BARKMAN, J. J.; DOING, H.; & SEGAL, S. (1964): Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur Quantitativen Vegetationsanalyse. - *Acta Botanica Neerlandica* 13: 394-419; Amsterdam.
- DIERSEN, K. & KIEHL, K. (2000): Theoretische Grundlagen von Diversität sowie ihre Bedeutung für die Arterhaltung. - [In:] KLINGENSTEIN, F. & WINGENDER, R. (Hrsg.): Erfassung und Schutz der genetischen Vielfalt von Wildpflanzenpopulationen in Deutschland. - Schriftenreihe für Vegetationskunde, 32: 7-21; Bonn – Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz).
- GRUNEWALD, R. (2002): Biodiversität und Tourismus: Veränderungen der Pflanzenvielfalt der Dünen durch die Erholungsnutzung. - *Rostocker Meeresbiologische Beiträge*, 11: 65-78; Rostock.
- HAEUPLER, H. (1982): Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. - *Dissertationes Botanicae*, 65: 268; Vaduz.
- ISERMANN, M. (1993): Zur Kenntnis der Vegetation und Morphologie unterschiedlich stark genutzter Dünen auf dem Darß im Nationalpark Vorpommersche Boddenlandschaft. - *Natur und Naturschutz in Mecklenburg-Vorpommern*, 30: 58-63; Greifswald.
- ISERMANN, M. & KRISCH, H. (1995): Dunes in contradiction with different interests. An example: The camping-ground Prerow (Darß/Baltic Sea). - *Coastal Management and Habitat Conservation*, 1: 439-449; Leiden (EUCC).
- JESCHKE, L. (1985): Vegetationsveränderungen in den Küstenlandschaften durch Massentourismus und Nutzungsintensivierung. - *Archiv Naturschutz und Landschaftsforschung*, 25: 223-236; Halle.
- KLIEWE, H. (1979): Zur Wechselwirkung von Natur und Mensch in küstennahen Dünenystemen. - *Potsdamer Forschungen, Reihe B*, 15: 107-119; Potsdam.
- LAMPERT, W. & SOMMER, U. (1993): *Limnoökologie*. - 440 S.; Stuttgart, New York.
- MAGURRAN, A. E. (1988): *Ecological Diversity and its Measurement*. - 179 S.; Princeton (Princeton University Press).
- PETERS, M. & POTT, R. (1999): *Natur und Tourismus auf Norderney*. Landschaftsverband Westfalen-Lippe. - *Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde*, 61: 174; Münster.
- PIOTROWSKA, H. (1989): Natural and anthropogenic changes in sand-dunes and their vegetation on the southern Baltic Coast. - *Perspectives in Coastal Dune Management*: 33-40.
- SMITH, B. & BASTOW WILSON, J. (1996): A consumer's guide to evenness indices. - *OIKOS*, 76: 70-82; Copenhagen.
- STÖCKER, G. & BERGMANN, A. (1977): Ein Modell zur Dominanzstruktur und seine Anwendung. 1. Modellbildung, Modellrealisierung, Dominanzklassen. - *Archiv Naturschutz Landschaftsforschung*, 17: 1-26.

**Autor:**

Dipl. Ing. (Landschaftsplanung) Ralf Grunewald  
FB Biowissenschaften  
Universität Rostock  
Albert-Einstein-Straße 3  
18051 Rostock

E-mail: [ralf.grunewald@biologie.uni-rostock.de](mailto:ralf.grunewald@biologie.uni-rostock.de)

Manuskripteingang: 16.06.2003; angenommen: 13.08.2003

