©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 13, 139-155. Hannover 2001

Die Vegetation der Wattenmeer-Inseln im raum-zeitlichen Wandel - ein Beispiel für den Einsatz moderner vegetationsanalytischer Methoden

- Jörg Petersen, Hannover -

Abstract

Variations of the vegetation from the Wadden Sea islands in time and space - an essay of the application of modern instruments for vegetation analysis

Vegetation dynamic is one of the main themes of applied or scientific research in natural ecosystems. Therefore a lot of modern investigation instruments or methods like GIS mapping, vegetation models etc. have been developed in phytosociology, but nevertheless the reliability of ecological prediction models relies on the quality of processed data.

In this paper the vegetation dynamic of dune slacks (hygrosere), salt marshes (halosere) and dunes (xerosere) of the Wadden Sea islands Terschelling (Netherlands), Juist, Norderney and Langeoog (Germany) are presented. For these investigations, besides historical and actual vegetation maps and relevés (classified according to the Braun-Blanquet's methodology), also a cellular automaton model (CA) is used. This enables vegetation changes over about 50-year intervals to be documented.

One example is given by the comparison of dot vegetation maps referred to the dune slack communities on Terschelling, as recorded in the period 1937 - 1947 and in the course of a present investigation: the number of occurrences of the surveyed vegetation units increased or, in some instances, remained constant. This is attributed to natural processes of succession as well as to the appearance of new habitats caused by the increase of the island size and by the effects of active nature-management practices. Another example is the combined analysis of vegetation maps from 1949 and 1996, relevés of permanent plots from 1936, 1948, 2000 and an high resolution digital altimetric model for a salt marsh region called „summer polder" on the East Frisian island Langeoog. In this case, observed changes are depending on the seadike of the „summer polder", which was built in 1934 to 1936 and should be de-embanked in the near future. The results of the presented analysis could be very important to predict the vegetation dynamics of salt marsh polder after de-embanking. Moreover, a CA prediction of vegetation changes which has been essayed on dune and dune slack vegetation of Langeoog in combination with GIS, turned out to be a very useful tool to get more information about vegetation dynamics of these ecosystems and to find the best compromise between nature conservation and land management problems.

Einleitung

Seit Beginn der Vegetationskunde stellt die Syndynamik einen Forschungsschwerpunkt dar, wobei durch die Nutzung moderner Analysewerkzeuge wie GIS (Geographische Infor-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

mationssysteme) besonders die Qualität der Datenauswertung und auch die Prognosemöglichkeit von Vegetationsentwicklung deutlich zugenommen hat (s. u.a. BRAUN-BLANQUET 1964, MUELLER-DOMBOIS & ELLENBERG 1974, TÜXEN 1975, VAN DER MAAREL et al. 1985, SCHAMINÉE et al. 1995, VAN DER MAAREL 1996, VAN DER VEEN et al. 1997, GOTTFRIED et al. 1998). Die Nutzung theoretischer Ansätze für praxisorientierte Fragestellungen ist sicherlich von großer Bedeutung in einer Zeit, in der berechtigterweise Fragen wie „Quo vadis Vegetationskunde?" gestellt werden. Ein entscheidender Punkt für die Prognosemöglichkeiten bzw. die Basis von Sukzessionsforschungen ist die Datengrundlage, die von langjährigen Dauerquadratuntersuchungen bis hin zu nahezu ausschließlich modellierten Datensätzen variieren kann. Für zukunftsgerichtete Aussagen ist die Entwicklung computergestützter Modelle gerade in der modernen Naturwissenschaft in vielen Forschungsprojekten fast zwingend erforderlich geworden. Um so bedeutsamer ist es, dass die Diskrepanz zwischen Feld- und Computer-Arbeit nicht zu groß wird, denn ein Modell ist natürlich nur so gut wie seine auf Geländeerhebungen zurückgehende Datengrundlage. GIS und Modelle sollten stets ein Hilfsmittel zur besseren Auswertung „klassisch" erhobener Daten sein, nicht jedoch Mittel zum Selbstzweck. In dieser Arbeit werden Beispiele für die Verknüpfung der Ergebnisse moderner Auswertungswerkzeuge bzw. -methoden wie GIS und Zellulärer Automat mit klassischer vegetationskundlicher Arbeit aufgezeigt.

Die hier aufgeführten Beispiele für Vegetationsentwicklung im raum-zeitlichen Wandel beziehen sich auf die Wattenmeer-Inseln der Nordsee. Dieser weltweit einmalige Lebensraum des Wattenmeeres mit seinen Inseln hat sich im Küstenbereich zwischen den Niederlanden und Dänemark entwickelt. Alle größeren Inseln weisen einerseits gleiche Grundstrukturen bzw. Landschaftsbereiche (Stadt- oder Dorfbereich, Kulturland, Salzwiesen, Dünen und Dünentäler) auf, andererseits bedingen regionale Unterschiede in bezug auf Genese und Geomorphologie die Einzigartigkeit jeder Insel. Die typische Küstenvegetation läßt sich nach landschaftsökologischen Kriterien in Hygroserie (Pflanzengesellschaften der feuchten Dünentäler), Haloserie (Pflanzengesellschaften der Salzwiesen) und Xeroserie (Pflanzengesellschaften der trockenen Dünen) einteilen. Um die Vielgestaltigkeit der Küstenvegetation und ihrer Dynamik zu dokumentieren, sollen Beispiele aus allen drei Serien von mehreren Inseln aufgeführt werden.

Die Analyse des Sukzessionsgeschehens der Küstenvegetation (Hygroserie, Haloserie und Xeroserie) soll hierbei anhand verschiedener Ansätze bzw. unterschiedlicher Datengrundlagen vom klassischen Dauerquadrat bis hin zum Prognosemodell gezeigt werden. Im Einzelnen werden folgende Beispiele vorgestellt:

Serie:	Insel:	Gebiet:	Datengrundlage:
1. Hygroserie			
1.1	Juist	„Hammersee"	Vegetationsaufnahmen
1.2	Terschelling	gesamte Insel	Vegetationsaufnahmen
1.3	Norderney	„Südstrandpolder"	Vegetationskarten
2. Haloserie			
2.1	Langeoog	Sommerpolder	Vegetationsaufnahmen, Vegetationskarten
3. Xeroserie			
3.1	Langeoog	Dünen im Ortsbereich (Grundwassereinzugsgebiet)	Vegetationskarten, Vegetationsmodell

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Ergebnisse

1. Hygroserie

1.1 Juist: „Hammersee"

Die sichersten Aussagen über die Entwicklung von Pflanzengesellschaften lassen sich anhand langjähriger Dauerquadratuntersuchungen durchführen (DIERSCHKE 1994). Für die Beschreibung der Entwicklung des *Junco baltici-Schoenetum nigricantis* im Süd-Westende des „Hammersees" auf der Ostfriesischen Insel Juist liegen nicht nur jährlich untersuchte Dauerquadrat-Daten von 1966 bis 1986 vor (RUNGE 1979, 1989), sondern für die Rekonstruktion der Sukzession an diesem gut zu lokalisierenden Standort lassen sich auch die Vegetationsaufnahmen aus den Jahren 1948 (TÜXEN n.p.), 1962 (HEYKENA 1965) und die des aktuellen Zustandes (PETERSEN 2000) verwenden (s. Tab. 1).

Tab. 1: Pflanzensoziologische Übersicht zur Entwicklung des *Schoenetum* am Süd-Westende des „Hammersees" auf Juist im Zeitraum von 1948 bis 1996.

Jahr	48	62	62	62	62	62	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	96	96	96
AC J. b. Schoenetum n.																				
Schoenus nigricans	3	3	a	a	1	.	3	5	5	5	5	5	5	4	4	3	3	b	a	a
VC Caricion davallianae																				
Liparis loeselii	+	+	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Parnassia palustris	1	+	+	1	a	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Epipactis palustris	a	1	a	1	1	1	.	.	.	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.
Campylium stellatum	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	a	1	1
D Caricion davallianae																				
Carex flacca	+	1	.	1	1	a	1	1	+	+	+	+	1	+	1	+	+	.	.	.
Juncus alpino. ssp. atri.	+	1	a	1	a	1	1	1	+	+	.	.	.	1	+	.	.	.	.	+
Mentha aquatica	1	1	1	+	1	1	.	1	+	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
Carex oederi s.l.	1	1	1	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Linum catharticum	.	1	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D Centaurio-Saginetum																				
Centaurium littorale	.	+	3	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Sagina nodosa	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D Salinität																				
Juncus gerardi	+	1	+	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Oenanthe lachenalii	+	1	+	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Glaux maritima	+	1	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D Trockenheit																				
Carex arenaria	1	1	.	+	+	a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hippophaë rhamnoides	.	1	.	1	a	3	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lotus corniculatus s.l.	.	.	+	a	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D Nässe, Versauerung																				
Lysimachia thyrsiflora	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	a	+	1
Carex nigra	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	m	1
Carex riparia	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	1	1
Eriophorum angustifolium	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
B Hygroserie																				
Salix repens	1	a	3	a	3	3	a	a	a	a	3	3	4	4	3	4	4	3	3	3
Phragmites australis	a	1	1	1	1	1	+	+	1	1	+	.	.	+	1	1	1	1	1	1
Calliergonella cuspidata	a	.	5	3	1	.	3	a	3	3	a	a	3	a	3	4	3	a	b	a
Hydrocotyle vulgaris	.	+	+	+	1	a	.	1	1	+	.	.	.	.	.	1	a	+	.	+

Der Vergleich dieser Aufnahmen zeigt, dass 1948 und auch noch 1962 ein junges *Schoenetum* ausgebildet war (vgl. KOPPE 1979). Dieses verdeutlichen nicht nur die Charakterarten *Liparis loeselii*, *Parnassia palustris* und *Epipactis palustris*, sondern auch *Carex oederi* s.l., *Linum catharticum* und das verstärkte Auftreten von *Juncus alpinoarticulatus* ssp. *atricapillus*. Vor allem das Vorkommen der *Asteretea tripolii*- und *Saginetea maritimae*-Arten *Juncus gerardi*, *Glaux maritima*, *Oenanthe lachenalii* sowie *Centaurium littorale* und *Sagina nodosa* kennzeichnet dieses Pionierstadium des *Schoenetum* (vgl. BRUIN 1991). Diese Arten und

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

auch die Taxa der trockenen Dünen (Xeroserie) *Carex arenaria*, *Lotus corniculatus* s.l. und *Hippophaë rhamnoides* lassen zudem Rückschlüsse auf den Vegetationstyp zu, aus dem sich das *Schoenetum* entwickelt hat, nämlich aus dem sich im Übergangsbereich der Halo,- Xero- und Hygroserie befindlichen *Centaurio-Saginetum* (s. PETERSEN 2000).

Die Unterschiede im Arteninventar der Bestände von 1948 bis 1996 verdeutlichen eine Veränderung der Standortfaktoren. Der starke Rückgang an Kalkflachmoor-Arten, das Verschwinden der Halophyten und der Taxa der trockenen Dünen und Pionierstandorte einerseits, sowie andererseits das Auftreten von *Carex nigra*, *Lysimachia thyrsiflora*, *Carex riparia* und *Eriophorum angustifolium*, also von hochwüchsigen und konkurrenzstarken Arten des Braunseggensumpfes bzw. der Röhrichte, belegen dies eindeutig.

Demzufolge lassen sich für das Süd-Westufer des „Hammersees" eine Entkalkung, Entsalzung sowie eine Entwicklung zu nasseren und saureren Bedingungen postulieren (vgl. GROOTJANS et al. 1991, 1995). Bestätigung findet diese Aussage in den aktuellen Meßdaten der Standortfaktoren, die ein schwach saures Milieu [pH (H_2O) = 6,2], einen Wert für die organische Substanz von 12,5 % und eine Mächtigkeit des humosen Horizontes von 8 cm ergeben. Auch der Vergleich der mittleren Feuchtezahlen und Salzzahlen von 1948 (mF = 7,8 und mS = 2,5) mit 1996 (mF = 8,4 und mS = 0,6) gibt einen Hinweis auf die beschriebene Entwicklung (vgl. ELLENBERG et al. 1992).

Dieses hat dazu geführt, dass aktuell neben dem dominierendem *Caricetum trinervi-nigrae* und den *Phragmitetea*-Gesellschaften nur noch ein Reliktbestand des *Schoenetum* vorhanden ist (vgl. Tab. 1, HOMM 1994). Die Erklärung für die Entsalzung und die damit oft verbundende Entkalkung ist in der Eindeichung des „Hammersees" bzw. dem damit verbundenem Ausbleiben der Meerwasserüberflutung begründet (1927-1932 wurde der Rest eines Meeresarmes durch den „Hammerdeich" vom Meer abgetrennt, vgl. LEEGE 1935, KOPPE 1979, HAFNER 1997).

1.2 Terschelling: gesamte Insel

Am Beispiel der Westfriesischen Insel Terschelling kann durch den Vergleich historischer (1937 - 1947) und aktueller Vegetationsaufnahmen (1994 - 1998) ein Überblick gegeben werden, wie sich die Vegetation der Hygroserie im Laufe von 50 Jahren verändert hat (s. Abb. 1, WESTHOFF 1947, POTT et al. 1999, PETERSEN 2000, 2000a, PETERSEN & WESTHOFF 2001). Die historischen Aufnahmen von Prof. Victor Westhoff konnten durch die genaue Beschreibung ihres Fundortes (= Name des Dünentales) in das moderne Analysewerkzeug GIS („GIS-Rasterkarten" mit einem 1x1 km Gitterraster) eingeführt und damit einer Auswertung verfügbar gemacht werden.

Der Vergleich zeigt, dass

- die Anzahl der Vorkommen von Pioniergesellschaften der Klassen *Littorelletea* (u.a. *Samolo-Littorelletum*), *Isoëto-Nanojuncetea* (*Cicendietum filiformis*) und *Saginetea maritimae* (*Centaurio-Saginetum*) leicht zugenommen hat; hierbei werden verhältnismäßig viele neue Wuchsorte besiedelt (vgl. PETERSEN 1999).
- die Anzahl der Vorkommen und ein Großteil der Wuchsorte (Dünentäler bzw. Raster) des *Junco baltici-Schoenetum nigricantis* nahezu konstant geblieben sind.
- die Anzahl der Vorkommen vom *Pyrolo-Salicetum*, von *Caricion nigrae*-Vegetationseinheiten und vom *Empetro-Ericetum* deutlich zugenommen hat, wobei nahezu alle historischen Wuchsorte (Dünentäler bzw. Raster) auch aktuell bestätigt werden können (s. Abb. 1).

Als Ergebnis des Vergleiches läßt sich zusammenfassen, daß die Anzahl der Vorkommen aller Vegetationseinheiten angestiegen oder zumindest konstant geblieben ist. Als Ursache

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

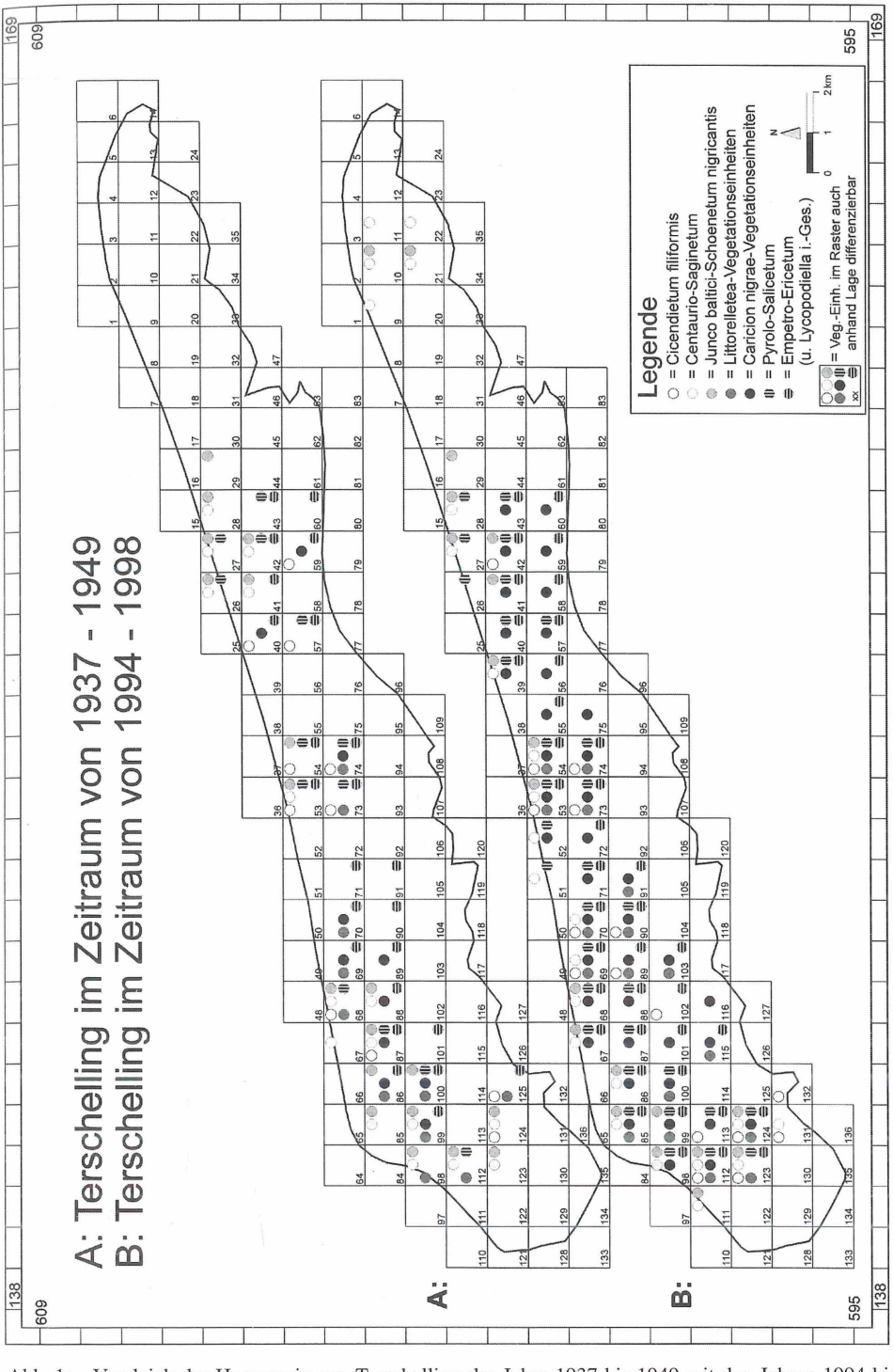

Abb. 1: Vergleich der Hygroserie von Terschelling der Jahre 1937 bis 1949 mit den Jahren 1994 bis 1998.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

hierfür sind natürliche Sukzessionsvorgänge, junge Zuwachs-Gebiete mit einer großen natürlichen Dynamik am West- und Ost-Ende der Insel sowie Art und Umfang aktiver Naturschutzmaßnahmen wie Mahd, Beweidung und Plaggenhieb anzusehen. Mit Sicherheit war auch die Anschaffung einer Festlands-Wasserleitung und damit die Senkung der Grundwasserförderung auf Terschelling von ca. 400.000 m³/Jahr auf ca. 200.000 m³/Jahr für die grundwasserabhängige Vegetation und besonders für die *Littorelletea*-Vegetationseinheiten von Vorteil (vgl. ZONNEVELD 1993, NEUHAUS & PETERSEN 1999, PETERSEN et al. 2001).

1.3 Norderney: „Südstrandpolder"

Für den Bereich des „Südstrandpolders" der Insel Norderney liegen Vegetationskarten der Jahre 1949 (TÜXEN n.p.), 1984 (SCHERFOSE 1985 n.p.) und 1990 (HOBOHM 1993) vor. Die Karten wurden digitalisiert, georeferenziert und mittels GIS verschnitten. Dieses bildete die Grundlage zur Erstellung einer Flächenbilanz der einzelnen Serien bzw. Biotoptypen.

Der „Südstrandpolder" befindet sich auf der Wattseite der Insel Norderney, östlich des Hafens. Er ist 1940 entstanden, als ein ca. 130 ha großes Sandwatt- und Salzmarsch-Areal zur Schaffung eines Flugplatzes für Wasserfahrzeuge eingedeicht wurde (s. SCHERFOSE 1985 n.p., 1991, MARTSFELD-HARTMANN 1994 n.p.). Nachdem der Bau des Flugplatzes eingestellt wurde, blieb das Gebiet vorerst sich selbst überlassen. Infolge der sich verändernden Standortbedingungen wie Aussüßung und Veränderung des Wasserregimes haben sich die Watt-Sedimente und Marschenböden umgewandelt. Die Bodenentwicklung des „Südstrandpolders" verlief beeinflußt durch das Ausgangsmaterial und insbesondere durch die verschiedenen Nährstoff- und Wasser-Faktoren sehr unterschiedlich. Der nördliche Teil vernässte aufgrund des Süßwasseraustritts aus der Süßwasserlinse bzw. durch eine Abwasserzuleitung, wobei der Nährstoffgehalt entscheidend durch die Abwasserzuleitung bestimmt wurde. Da Boden- und Vegetationsentwicklung eng miteinander verknüpft sind, entstanden im „Südstrandpolder" dementsprechend recht unterschiedliche Vegetationstypen.

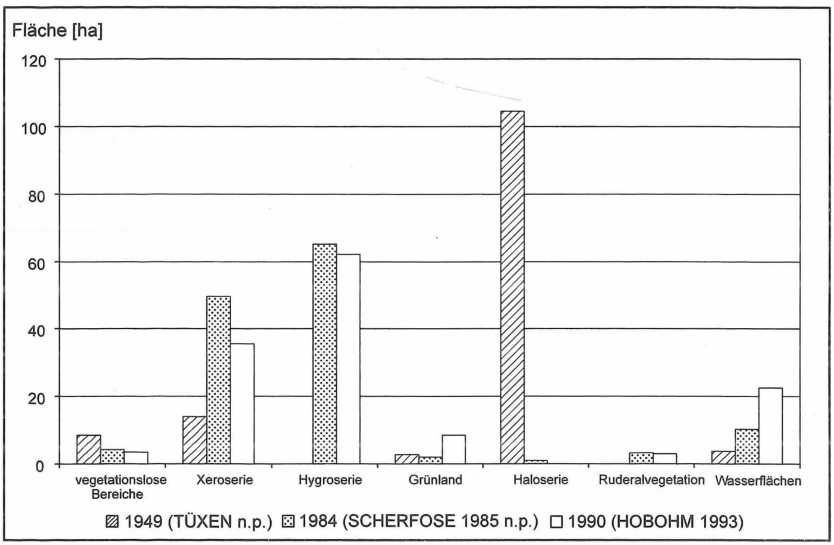

Abb. 2: Darstellung der Vegetationsdynamik des „Südstrandpolders" auf Norderney anhand des Vergleiches der Flächenbilanz der einzelnen Serien bzw. Biotoptypen auf der Basis der Vegetationskarten von 1949 (TÜXEN n.p.), 1984 (SCHERFOSE 1985 n.p.) und 1990 (HOBOHM 1993).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Die Flächenbilanz der drei Vegetationskarten ergibt, dass im Vergleich, vor allem der Karte von 1949 mit den Karten von 1984 und 1990, unterschiedliche Vegetationseinheiten sogar verschiedener Serien das Bild des „Südstrandpolders" bestimmen (s. Abb. 2). Einen guten Überblick der Vegetationsentwicklung dieses anthropogen geschaffenen Bereiches gibt ein Vergleich der einzelnen Serien bzw. Biotoptypen. Die historische Karte von 1949 (TÜXEN n.p.) zeigt die Pioniervegetation dieses zu dieser Zeit durch haline Verhältnisse geprägten Polderbereiches. Die Haloserie (vor allem Gesellschaften des *Salicornion* und *Armerion*) ist hier das dominierende Vegetationselement. Neben vegetationslosen Bereichen, die zu dieser Zeit ihre größte Ausdehnung erreichten, treten noch Pflanzengesellschaften der Xeroserie (vor allem das *Hippophao-Sambucetum* und *Koelerio-Corynephoretea*-Gesellschaften) auf, während die Hygroserie noch nicht ausgebildet war. Die Karten von SCHERFOSE und HOBOHM geben die Vegetationsverhältnisse nach weiteren 35 bzw. 41 Jahren wieder. Auffallend ist vor allem die nahezu vollständige Entwicklung der Salzwiesenvegetation zu Pflanzengesellschaften der Dünen und Dünentäler. Das Gutachten von SCHERFOSE (1985 n.p.) bildete die Grundlage des 1987/1988 aus Naturschutzgründen angelegten, ca. 20 ha großen Teichsystems im Westen des Polders (SCHERFOSE 1991, MARTSFELD-HARTMANN 1994 n.p.). Die Zunahme der Wasserflächen wird durch die Flächenbilanz gut wiedergegeben. Bei einer Analyse der aktuellen Vegetationsverhältnisse ist zu bedenken, dass die Abwässer der Kläranlage Norderney dieses neu geschaffene Teichsystem durchlaufen. Deshalb lassen sich die ausgedehnten Röhrichtbestände (*Scirpo-Phragmitetum*) des Polders nur vor dem Hintergrund dieser anthropogenen Beeinflussung erklären (vgl. POTT & PETERSEN 1999). Als weitere Pflanzengesellschaften der Hygroserie sind vor allem Birken- und Weidengebüsche (*Betula pubescens*- u. *Salix cinerea-Salix arenaria*-Gesellschaft) sowie die Feuchtheide (*Empetro-Ericetum*) zu nennen. Der „Südstrandpolder" wurde im Jahr 1986 zur Schutzzone I (Ruhezone) des Nationalparkes Niedersächsisches Wattenmeer (vgl. HELBING 1991) erklärt. In diesem Bereich befinden sich die größten Feuchtheide-Vorkommen aller Ostfriesischen Inseln (PETERSEN 2000).

2. Haloserie

2.1 Langeoog: Sommerpolder

Die Digitalisierung und Georeferenzierung historischer (TÜXEN 1949 n.p.) und aktueller Vegetationskarten (FROMKE 1996) des ca. 190 ha großen Sommerpolderbereiches der Insel Langeoog (s. Abb. 3A) erlaubt die Verschneidung beider Karten miteinander sowie mit einem digitalem Höhenmodell (Auflösung ca. 10 cm) und topographischen Karten verschiedenen

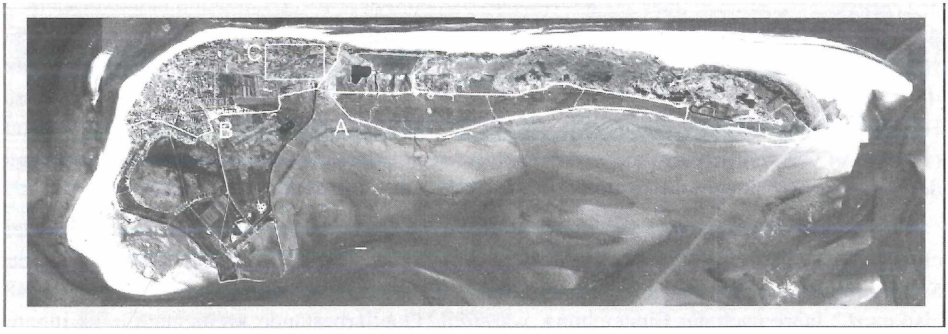

Abb. 3: Luftbild der Insel Langeoog; A: Der Sommerpolderbereich liegt zwischen Hauptdeich am Ortsrand und der Meierei im Osten der Insel; B: Der Dünenbereich in Ortsnähe bzw. das Grundwassereinzugsgebiet der Insel Langeoog; C: Untersuchungsgebiet für die Berechnung der Vegetationsverteilung des *Hieracio-Empetretum* und *Violo-Corynephoretum*.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Alters (1913, 1955 und 1997). Damit wird die Basis für eine komplexe Analyse der Vegetationsdynamik dieses Lebensraumes geschaffen. Diese Untersuchungen sind von besonderer Bedeutung, da im Rahmen einer Ersatzmaßnahme zur Europipe I und II eine Rückdeichung für den Sommerpolderbereich der Insel Langeoog geplant ist.

Für die Untersuchungen wurden die Pflanzengesellschaften des Gebietes zu Vegetationsgruppen zusammengefaßt, wobei die Vegetationseinheiten nach syntaxonomischen und ökologischen Kriterien (unterschiedliche Salzbeeinflussung bzw. Überflutungshäufigkeit) differenziert wurden. Die tiefst gelegenen Bereiche des Sommerpolders auf Langeoog werden vom *Spartinetum anglicae*, dem *Salicornietum strictae* bzw. dem *Salicornietum brachystachyae* besiedelt. Dieser Abschnitt wird als **untere Salzwiese** angesprochen. Der sich oberhalb anschließende Salzwiesenbereich gliedert sich in die **mittlere Salzwiese** (Pflanzengesellschaften des *Puccinellion*: *Puccinellietum maritimae* und *Halimionetum portulacoidis*) und die **höhere Salzwiese** (Pflanzengesellschaften des „unteren" *Armerion*: *Plantagini-Limonietum* und *Juncetum gerardii*). Die darauf folgenden Bereiche lassen sich als **obere Salzwiese** (Pflanzengesellschaften des „oberen" *Armerion* und der *Saginetea maritimae*: *Festuca rubra*-Gesellschaft, *Atriplici-Elymetum pycnanthi*, *Artemisietum maritimae*, *Ononido-Caricetum distantis* und *Sagino-Cochlearietum*) benennen. Darüber hinaus kommen auch Pflanzengesellschaften des Grünlandes, der Dünen und Dünentäler vor, die in dieser Arbeit unter der Bezeichnung „**keine Salzwiese**" zusammengefaßt werden.

Neben den Vegetationskarten konnten für das Gebiet auch 45 Dauerquadrate der Jahre 1936, 1948 und 2000 ausgewertet werden. Bei der Auswahl der aktuellen Lage der Dauerquadrate wurden die ungefähren Ortsangaben der Vegetationsaufnahmen von HARNISCHMACHER aus den Jahren 1936 und 1948 verwendet (HARNISCHMACHER 1949 n.p.). Da sowohl damals als auch heute ein verhältnismäßig dichtes Netz von Dauerquadraten im gesamten Sommerpolderbereich angelegt wurde, kann durch die Auswertung der Dauerquadrate ein repräsentativer Überblick der Vegetationsentwicklung innerhalb des Sommerpolders erarbeitet werden. Um Sukzessionsvorgänge zu erfassen bzw. abzuleiten, gibt es verschiedene Möglichkeiten: die sichersten Aussagen gestatten Dauerquadratuntersuchungen, wie sie in Salzwiesen beispielsweise von CHRISTIANSEN (1937), RUNGE (z.B. 1972, 1975, 1978, 1984, 1987) und SCHWABE (1975) durchgeführt wurden. Darüber hinaus liefern auch Vergleiche von Vegetationskarten sehr gute Informationen.

Für eine Prognose der Vegetationsentwicklung bei einer für ca. 2003 geplanten Rückdeichung wurde das Höhenmodell des Sommerpolderbereiches in vier Höhenstufen (Zonen) - mittels Arc-View-Bearbeitung - differenziert [Zone 1: bis 1,2 m*, Zone 2: 1,2 bis 1,7 m, Zone 3: 1,7 bis 2,2 m, Zone 4: über 2,2 m; * = 1,2 m entspricht laut verwendetem Höhenmodell ca. der Mittleren Tide-Hochwasser-Linie (MThw) im Bereich Sommerpolder Langeoog]. Die Höhenstufen wurden auf der Grundlage von Literaturdaten ermittelt (u.a. ROOZEN & WESTHOFF 1985, SCHERFOSE 1989, DIJKEMA et al. 1989, WIJNEN et. al. 1997). Das differenzierte Höhenstufenmodell wurde dann mit den Vegetationskarten von FROMKE (1996) und TÜXEN (1949 n.p.) verschnitten und die Flächenanteile der gebildeten Vegetationsgruppen innerhalb der einzelnen Höhenstufenklassen ermittelt.

Der Vergleich zeigt, dass 1936 (entspricht den Vegetationsverhältnissen vor der Eindeichung von 1934 - 1936) im heutigen Sommerpolderbereich die **untere Salzwiese** bzw. das *Salicornietum brachystachyae* relativ großflächig entwickelt war (s. Tab. 2: II). Im Jahr 1948, also ca. 12 Jahre nach der Eindeichung, waren die Quellerbestände, wenn auch in geringerer Anzahl (s. Tab. 2: I), noch ausgebildet. In der Vegetationskarte von 1949 sind die Pioniergesellschaften der **unteren Salzwiese** jedoch nicht mehr verzeichnet. Die **mittlere Salzwiese** bzw. das *Puccinellietum maritimae* bleibt von 1936 zu 1948 konstant bei einer Stetigkeit von 20 - 40 % (s. Tab. 2: II) und erreicht in der Vegetationskarte von 1949 einen Flächenanteil von

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

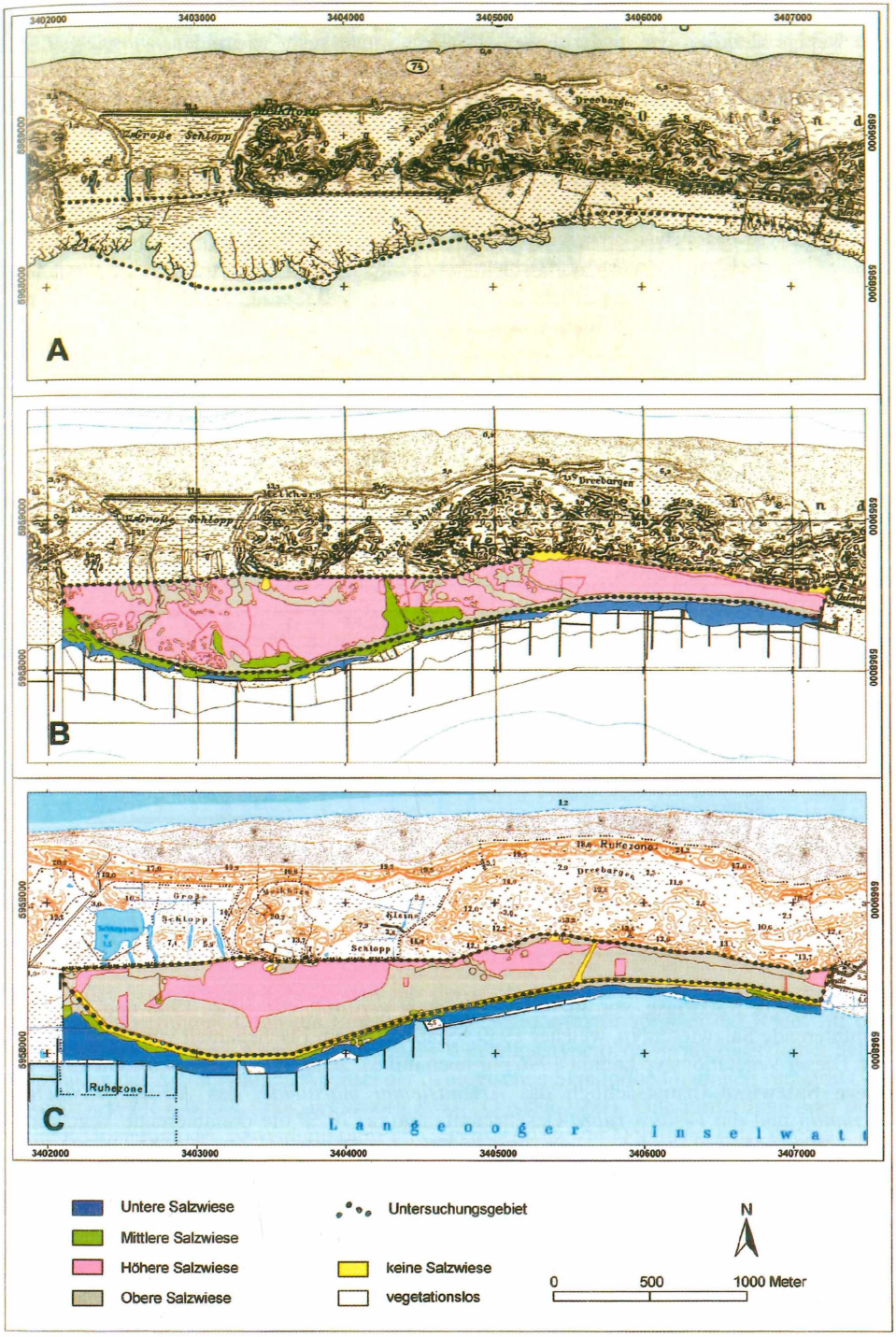

Abb. 4: Karten der gebildeten Vegetationsgruppen des Sommerpolderbereiches auf der Insel Langeoog von 1949 (TÜXEN n.p.) und 1996 (FROMKE 1996) sowie die Topographische Karte von 1913, die die Inselausdehnung im Bereich des heutigen Sommerpolders vor der Eindeichung von 1934 - 1936 dokumentiert.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

ca. 15 %. Sowohl die **untere** als auch die **mittlere Salzwiese** sind 1996 und 2000 - bis auf sehr wenige kleinflächige Sonderflächen in Senken - nicht mehr vorhanden.

Tab. 2: Vergleich der Vegetation des Sommerpolderbereiches von Langeoog der Jahre 1936, 1948 (HARNISCHMACHER 1949 n.p.) und 2000 auf der Grundlage von 45 Dauerquadraten.

Jahr	**1936**		**1948**		**2000**	
Anzahl der Vegetationsaufnahmen	45		45		45	
Salicornietum brachystachyae						
Salicornia europaea ssp. brachystachya	II	27	I	15	.	
Puccinellietum maritimae						
Puccinellia maritima	II	37	II	18	.	
Juncetum gerardii						
Juncus gerardi	IV	33	IV	11	I	15
Plantagini-Limonietum						
Limonium vulgare	I	6	II	8	r	4
Plantago maritima	III	10	III	8	II	8
Armerion und Saginion						
Glaux maritima	IV	12	III	8	II	5
Armeria maritima	IV	12	IV	9	II	3
Plantago coronopus	II	7	II	8	I	2
Cochlearia danica	I	6	II	6	.	
Artemisietum maritimae						
Artemisia maritima	+	8	I	7	IV	18
Atriplici-Elymetum pycnanthi						
Elymus repens	r	35	.		III	32
Elymus athericus	.		.		I	24
Atriplex prostrata	.		.		III	2
Ononidi-Caricetum distantis						
Ononis repens ssp. spinosa	.		r	7	I	17
Carex distans	.		.		I	6
Festuca rubra-Gesellschaft						
Festuca rubra agg.	V	18	V	28	V	33
Stetigkeitsklassen:						
0 < r ≤ 5 %			40 < III ≤ 60 %			
10 < I ≤ 20 %			60 < IV ≤ 80 %			
20 < II ≤ 40 %			80 < V ≤ 100 %			

Die **höhere Salzwiese**, vor allem das *Juncetum gerardii*, war 1936, 1948 und 1949 der dominierende Salzwiesentyp, welcher 1949 sogar mit einem Flächenanteil von ca. 80 % auftrat. Dieser Vegetationstyp kommt 1996 nur noch mit ca. 20 % vor. Stattdessen stellt 1996 die **obere Salzwiese** (hauptsächlich das *Artemisietum maritimae*, das *Atriplici-Elymetum pycnanthi* und die *Festuca rubra*-Gesellschaft) mit ca. 70 % die dominierende Vegetation. Diese Pflanzengesellschaften waren 1936, 1948 und 1949 mit Ausnahme der *Festuca rubra*-Gesellschaft nur noch von sehr geringer Bedeutung. Das *Ononido-Caricetum distantis* lag 1936 und 1948 offenbar nicht vor, kam 1949 kleinflächig vor und nahm 1996 und 2000 eine Fläche von ca. 10 % ein. Erklärbar ist dieses durch trockenere Bedingungen und eine extensive Beweidung, deren Auswirkungen die Gesellschaft begünstigen.

Für die beschriebene Entwicklung der Vegetationsverhältnisse des Sommerpolders ist natürlich die Abnahme an Überflutungen von entscheidender Bedeutung. Aufgrund der starken Abhängigkeit der Vegetation von der Häufigkeit und der Dauer der Überflutungen durch das Meer ergibt sich eine typische Zonierung innerhalb der Salzwiesen, wobei für die Überflutungshäufigkeit eine deutliche Abhängigkeit von der relativen Höhenlage zum MThw auf-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

zuführen ist (vgl. ELLENBERG 1996). Nach einer Rückdeichung werden sicherlich nicht genau die Vegetationsverhältnisse von 1936 oder 1948 wieder erreicht werden, jedoch wird sich wahrscheinlich eine Vegetation annähernd diesen Verhältnisse einstellen (s. Abb. 5). Der Vergleich des Vorkommens der verschiedenen Vegetationsgruppen innerhalb der Bereiche der Höhenstufenklassen (Zonen 1 bis 4) zeigt, dass es sich bei der Zone 2 um die Bereiche handelt, in denen nach einer Rückdeichung die auch flächenmäßig größten Vegetationsveränderungen auftreten werden. Die aktuell bestandsbildenden Bereiche der **oberen Salzwiese**, vor allem das *Artemisietum maritimae* werden sich mit großer Wahrscheinlichkeit zu Vegetationseinheiten der **höheren** und teilweise der **mittleren Salzwiese** zurückentwickeln. Ein Vergleich mit der Flächenbilanz der Vegetationskarte von 1949 (s. Abb. 5) des gleichen Bereiches untermauert dies. In der Zone 2 sind somit die Pflanzengesellschaften der **höheren Salzwiese** aktuell in bezug zur vorliegenden Höhenlage deutlich unterrepräsentiert.

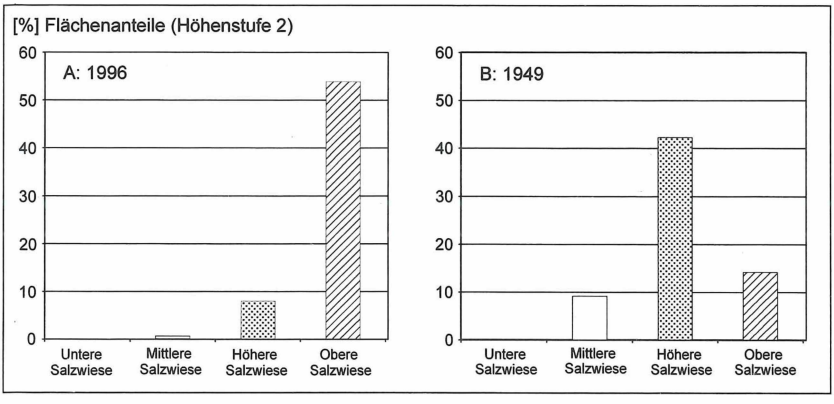

Abb. 5: Prozentuale Flächenanteile für die jeweiligen Salzwiesengruppen innerhalb der Höhenstufe (Zone) 2 der aktuellen (A: nach FROMKE 1996) und historischen (B: nach TÜXEN 1949 n.p.) Vegetationsverhältnisse, ermittelt aufgrund der Verschneidung des in vier Höhenstufen untergliederten Höhenmodells mit den gebildeten Salzwiesengruppen der Vegetationskarten des Sommerpolderbereiches.

Allerdings läßt sich eine monotone **obere Salzwiese**, geprägt durch die absolute Dominanz des *Artemisietum maritimae*, *Atriplici-Elymetum pycnanthi* und eines stark „verfilzten" Rasens der *Festuca rubra*-Gesellschaft nur durch extensive Beweidung in eine natürlichere Salzwiese überführen. Denn die Beweidung als Standortfaktor sorgt in der Regel für eine größere Vielfalt (höhere Artenanzahlen, mehr Vegetationstypen), da sie als zusätzlicher Selektionsfaktor den kleinräumigen Wechsel der ökologischen Standortbedingungen verstärkt (vgl. HÄRDTLE 1984, BAKKER 1988, WESTHOFF & VAN OOSTEN 1991). Eine Einstellung oder deutliche Reduzierung der Beweidung führt im Gegensatz dazu zur Dominanz einer oder weniger Arten bzw. Pflanzengesellschaften wie z.B. *Artemisia maritima*, *Elymus pycnanthus* und *Festuca rubra* s.l. (vgl. DIJKEMA & WOLFF 1983, KIEHL et al. 1996). Dieses wird auch von WIJNEN et al. (1997) für einen vergleichbaren Salzwiesenbereich auf der Insel Schiermonikoog - auf der Grundlage zwanzig Jahre währender Dauerquadratuntersuchungen - dokumentiert. Zusätzlich sorgt die Beweidung für eine Verlagerung der Salzwiesenzonation in Richtung der höher gelegenen Salzwiese, d.h. das *Puccinellietum maritimae* träte z.B. deutlich höher über der MThw-Linie auf, als es in der unbeweideten Salzwiese der Fall ist (vgl. BAKKER & RUYTER 1981). Die große Bedeutung einer extensiven Beweidung läßt sich für den durch die **obere Salzwiese** dominierten Sommerpolderbereich und auch den sich nördlich anschließenden „Kleinen und Großen Schlopp" durch die aktuell noch vorkommenden

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Flächen der **höheren Salzwiese** (vor allem des *Juncetum gerardii*) dokumentieren. Denn diese befinden sich fast nur noch in den extensiv beweideten Gebieten (s. Abb. 4).

3. Xeroserie

3.1 Langeoog: Dünen in Ortsnähe (Grundwassereinzugsgebiet)

Das Grundwassereinzugsgebiet des Wasserwerkes der Insel Langeoog wurde im Rahmen eines von der VolkswagenStiftung geförderten interdisziplinären Forschungsprojektes („*Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste*", s. PETERSEN et al. 2001) in den Sommermonaten 2000 pflanzensoziologisch kartiert (DAUCK 2001 n.p.). Dieses Gebiet umfaßt die Dünen in Ortsnähe (s. Abb. 3B) wozu die Kaap- und Herrenhusdünen sowie der Pirolatalbereich gehören. Die aktuelle Karte und die auch beim Sommerpolderbereich (Kap. 2) verwendete historische Karte des Jahres 1949 (TÜXEN n.p.) wurden nach Digitalisierung und Georeferenzierung miteinander verschnitten und unter Verwendung eines hochauflösenden digitalen Höhenmodells ausgewertet. Des weiteren ist in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof. Otto Richter (Inst. für Geoökologie der TU Braunschweig) ein Modell (Zellulärer Automat) zur Simulation zukünftiger Vegetationsentwicklung in Dünen- und Dünentallandschaften entwickelt worden.

Im Gegensatz zur Flächenbilanz der Serien bzw. Biotoptypen des „Südstrandpolders" auf Norderney (Kap. 1.3) erweist sich hier eine Berechnung der Flächenanteile der einzelnen Pflanzengesellschaften als sinnvoll (s. Abb. 6). Die Vegetationskarten zeigen, dass die Pflanzengesellschaften im wesentlichen der Xeroserie zuzuordnen sind. Hierbei werden die Vegetationsverhältnisse von 1949 hauptsächlich durch Gesellschaften der *Koelerio-Corynephoretea* - vor allem durch das *Violo-Corynephoretum* - geprägt. Der Vergleich der historischen Trockenrasenbestände mit den aktuellen Vorkommen zeigt die markantesten Veränderungen

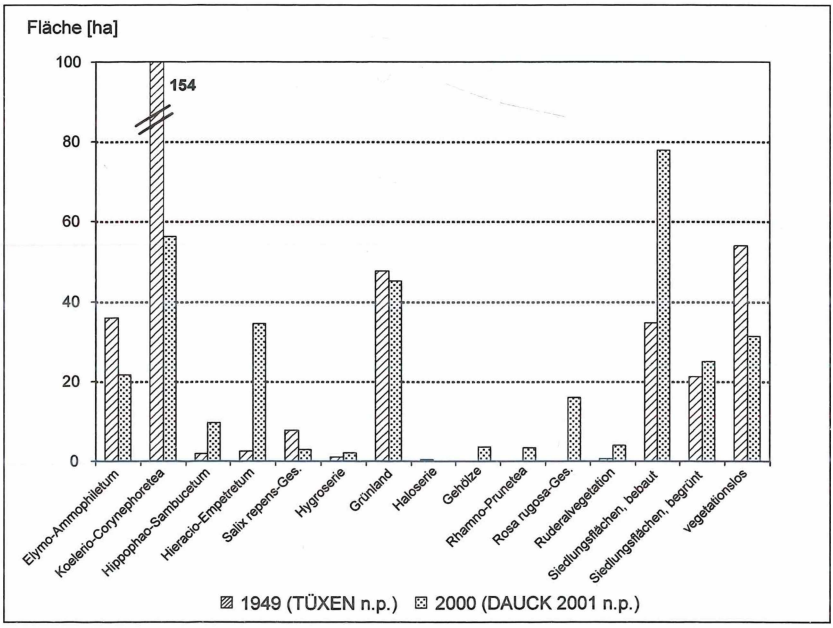

Abb. 6: Flächenbilanz der Vegetationseinheiten auf der Basis der Vegetationskarten des Dünenbereiches in Ortsnähe der Insel Langeoog von 1949 (TÜXEN n.p.) und 1996 (FROMKE).

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

in der Flächenbilanz, denn für diesen Vegetationstyp ergibt sich eine deutliche Abnahme des Flächenanteils um fast 100 ha (von ca. 154 auf 56 ha). Die Pflanzengesellschaft, die hingegen mit ungefähr 32 ha den größten Flächenzuwachs aufweist, ist das *Hieracio-Empetretum*, wobei die Entwicklung vom *Violo-Corynephoretum* zum *Hieracio-Empetretum* als natürliche Sukzession bezeichnet werden kann (vgl. POTT 1995a). Der Verlust an Weißdünen-Bereichen durch verstärkt hier wirkende Sturmflutereignisse und die natürliche Vegetationsentwicklung kommen in der Flächenabnahme des *Elymo-Ammophiletum* zum Ausdruck. Eine Pflanzengesellschaft, die 1949 anscheinend noch nicht auftrat, aktuell jedoch eine der habituell wie flächenmäßig (ca. 16 ha) auffälligsten Bestände bildet, ist die Vegetationseinheit um den Neophyten *Rosa rugosa*. Diese Bestände kommen hauptsächlich in den Dünen des direkten Ortsbereiches vor und sind in der Regel anthropogenen Ursprungs (vgl. POTT 1995, PETERS & POTT 1999). Durch die Erfassung des Istzustandes der Kartoffelrosen-Gesellschaft kann deren Entwicklung bzw. Ausbreitung zukünftig genauer studiert werden. Weiterhin läßt sich aufführen, dass die Flächenanteile der Gebüsch- und Gehölz-Gesellschaften der Klassen *Rhamno-Prunetea*, *Vaccinio-Piceetea* und *Quercetea robori-petraeae* verstärkt zugenommen haben (vgl. POTT 1995, POTT et al. 1999) und die vegetationslosen Bereiche deutlich zurückgegangen sind. Die grundwasserabhängigen Pflanzengesellschaften der Hygroserie sind in dem Grundwassereinzugsgebiet des Wasserwerkes der Insel Langeoog aufgrund ihrer Gefährdung von großer Bedeutung (s. PETERSEN et al. 2001), werden aber wegen ihres geringen Flächenanteiles (ca. 2 %) in dieser Übersicht nicht weiter berücksichtigt. Pflanzengesellschaften der Haloserie sind schon 1949 bedeutungslos und aktuell gar nicht mehr vorhanden. Bei dem Vergleich der Siedlungsflächen zeigt sich, dass eine starke Zunahme der bebauten Flächen um ca. 43 ha vorliegt, während der begrünte Bereich (u.a. Gärten, Parks) nahezu konstant geblieben ist.

Da die markantesten Vegetationsveränderungen für das *Hieracio-Empetretum* und *Violo-Corynephoretum* vorliegen, ist deren aktuelle Flächenausdehnung mit dem Höhenmodell bzw. der Exposition verschnitten und deren bevorzugte Expositionsverteilung berechnet worden (s. Abb. 7). Der Vergleich beider Pflanzengesellschaften verdeutlicht ihre unterschiedliche Standortpräferenz bezüglich der Exposition. Denn während das *Violo-Corynephoretum* seinen Schwerpunkt auf südgeneigten Hängen hat, besiedelt das *Hieracio-Empetretum* bevorzugt Nordhänge. Hierbei machen die unterschiedlichen Wärme- bzw. Feuchteansprüche der Silbergras-Rasen bzw. Krähenbeer-Heiden dieses Verteilungsmuster erklärbar (vgl. PETERSEN et al. 2001).

Für das untersuchte Dünen- und Dünental-Gebiet der Insel Langeoog, das sich im zentralen Bereich des Trinkwassergewinnungsgebietes befindet, wurde ein Prognosemodell entwickelt, das u.a. die Auswirkungen zukünftiger Grundwasserbewirtschaftung auf die Vegetationsdynamik abschätzen soll. Die Defizite klassischer ökologischer Modelle liegen zumeist in dem nicht expliziten Raumbezug (s. RICHTER et al. 1997). Um dieses Problem zu umgehen, werden verstärkt rasterbasierte Ansätze zur Simulation der räumlichen und zeitlichen Dynamik von Ökosystemen angewandt. Rasterbasierte Modelle ermöglichen ferner die Abbildung natürlicher Prozesse durch Interaktionen einer endlichen Anzahl von Rasterzellen. Einen solchen Ansatz zur expliziten räumlichen Simulation bieten Zelluläre Automaten.

Für die Simulation der Vegetationsentwicklung in Dünen- und Dünental-Landschaften wird ein Gitter aus quadratischen Rasterzellen verwendet. Jeder Zelle wird ein Zustandsvektor zugeordnet, der die Vegetationseinheit und die fünf Standortfaktoren Bodenfeuchte, Bodenazidität, organische Substanz, Salinität und anthropo-zoogene Beeinträchtigung enthält. Die räumliche Ausbreitung und Interaktion der Vegetationseinheiten wird über ein probabilistisches Regelsystem an die Dateien der Standortfaktoren gekoppelt. Die Informationen über die Zusammenhänge zwischen den Standortfaktoren und den Vegetationseinheiten stam-

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

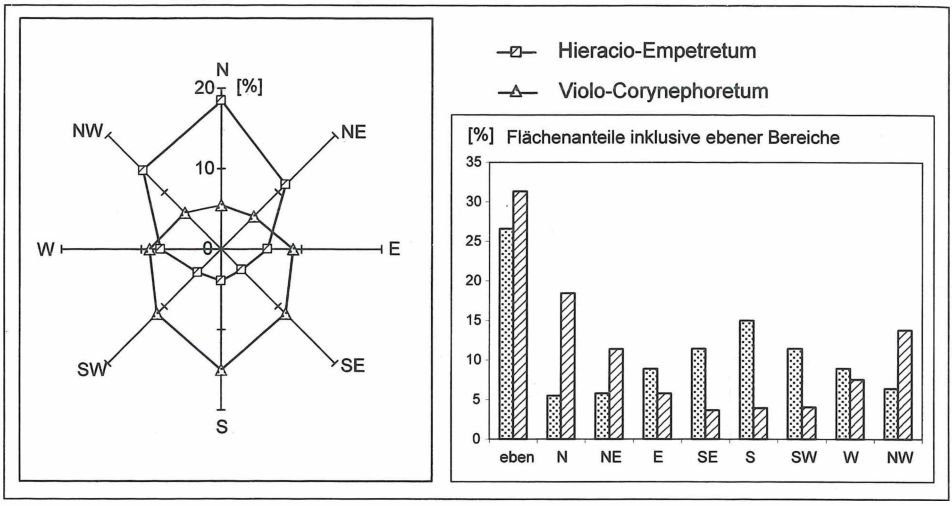

Abb. 7: Bevorzugte Expositionsbereiche der Krähenbeerheide und des Silbergras-Rasens im Untersuchungsgebiet (Ausschnitt: s. Abb. 3C) anhand der Darstellung relativer Flächenanteile des *Hieracio-Empetretum* und *Violo-Corynephoretum* nach Ausrichtung geneigter Wuchsflächen, deren Geländeoberfläche eine Neigung > 3° hat (vgl. DAUCK 2001 n.p.).

men zum großen Teil aus PETERSEN (2000). Mit den Angaben zur Empfindlichkeit der Vegetationseinheiten gegenüber Veränderungen der Standortfaktoren wird beschrieben, welche Umweltbedingungen von den Vegetationseinheiten toleriert werden können.

Die Berechnung der Besiedlungswahrscheinlichkeiten der Standorte durch die Vegetationseinheiten berücksichtigt die Standortfaktoren, das Auftreten der Vegetationseinheiten in der direkten Nachbarschaft und das Ausbreitungspotential über größere Entfernungen. Die möglichen Sukzessionschritte sind den Sukzessionsschemata von POTT (1995a), FROMKE (1996) und PETERSEN (2000) entnommen.

Das Modell ist in der Lage, Neubesiedlungen von Dünen- und Dünental-Gebieten zu simulieren. Durch noch laufende Sensitivitätsanalysen und Validierungen soll versucht werden, die Systemparameter optimal einzustellen. Ziel ist es, durch das Vegetationsmodell die Auswirkungen von Änderungen des Grundwasserhaushalts auf die Vegetationsentwicklung vor allem in feuchten Dünentälern noch genauer zu prognostizieren. Durch die Kopplung des Vegetationsmodells an Geographische Informationssysteme (z.B. ArcView) kann eine effektive Visualisierung der Simulationsergebnisse erfolgen, die beispielsweise Entscheidungsträgern in Wasserwirtschaft und Naturschutz die Auswirkungen von Maßnahmen vor Augen führt und zur besseren Kommunikation zwischen den Ressorts und ggf. der interessierten Öffentlichkeit beitragen kann.

Danksagung

Dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK) und dem Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer danke ich für die problemlose Zustimmung, die aktuell erhobenen Daten des Sommerpolderbereiches der Insel Langeoog verwenden zu dürfen. Den Mitarbeitern meiner Arbeitsgruppe Dipl.-Geoökologe Hans-Peter Dauck und Dipl.-Biologe Dirk Hahn möchte ich für die Unterstützung bei den „GIS-Arbeiten" herzlich danken.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

Literatur

BAKKER, J.P. & J.C. RUYTER (1981): Effects of 5 years of grazing on a salt-marsh vegetation. - Vegetatio **44**: 81-100. Den Haag.

BAKKER, J.P. (1988): Pflegeformen und Änderungen in der Salzwiesenvegetation. - In: KEMPF, N., J. LAMP & P. PROKOSCH (Hrsg.): Salzwiesen: Geformt von Küstenschutz, Landwirtschaft oder Natur? - Tagungsbericht 1 der Umweltstiftung WWF-Deutschland: 215-241. Husum.

BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. - 865 S. Springer Berlin, Wien.

BRUIN, C. (1991): Het Junco baltici-Schoenetum nigricantis en enkele nauw verwante vegetatietypen. - Stratiotes **3**: 40-60.

CHRISTIANSEN, W. (1937): Beobachtungen an Dauerquadraten auf der Lotseninsel Schleimünde. - In: Schrift. Naturwiss. Verein Schlesw.-Holst. **23** (1): 69-84. Kiel - Leipzig.

DAUCK, H.-P. (2001): Vegetationskundliche und geoökologische Untersuchungen der grundwasserbewirtschafteten Dünen auf Langeoog - eine GIS-gestützte Auswertung und Modellanalyse. - Unveröff. Diplomarbeit, Institut für Geographie und Geoökologie der TU Braunschweig.

DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden. - 683 S., Stuttgart.

DIJKEMA, K. & WOLFF, W. (1983): Flora and vegetation of the wadden sea islands and coastal areas. - Report 9 of the Wadden Sea Working Group: 413 S. u. Karten, Rotterdam.

DIJKEMA, K.S., BOUWSEMA, P. & J. VAN DEN BERGS (1989): Possibilities for the Wadden Sea Marshes to Survive Future Sealevel Rise. – Saltmarsh Management in the Waddensea Region 125-145.

ELLENBERG, H., WEBER, H., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. & PAULIßEN, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - Scripta Geobotanica **18**: 258 S., Göttingen.

ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. – 1095 S., 5 Aufl., Stuttgart.

FROMKE, A. (1996): Vergleichende geobotanische Untersuchungen der Ostfriesischen Inseln Baltrum und Langeoog im Nationalpark „Niedersächsisches Wattenmeer" - 229 S., Diss. Univ. Hannover.

GOTTFRIED, M., H. PAULI & G. GRABHERR (1998): Prediction of Vegetation Patterns of Plant Life: A New View of the Alpine-Nival Ecotone. In: Arctic and Alpine Res. **30** (3): 207-221, Boulder.

GROOTJANS, A, HARTOG, P., FRESCO, L. & ESSELINK, H. (1991): Succession and fluctuation in a wet dune slack in relation to hydrological changes. - Journal of Vegetation Science **2**: 545-554, Groningen.

GROOTJANS, A., LAMMERTS, E. & BEUSEKOM, C. VAN (1995): Kalkrijke duinvalleien op de Waddeneilanden. - KNNV: 175 S., Utrecht.

HÄRDTLE, W. (1984): Vegetationskundliche Untersuchungen in Salzwiesen der ost-holsteinischen Ostseeküste . - Mitt. d. Arbeitsgem. Geobotanik in Schlesw.-Holst. und Hamb. **34**: 142S. Kiel.

HAFNER, L. (1997): Juist - ein Inselbuch. - S. 38-41, Juist.

HARNISCHMACHER, R. (1949): Gutachten über die Entwicklung der domänenfiskalischen Hellerwiesen auf der Nordseeinsel Langeoog nach Ausführung der Sommerbedeichung in den Jahren 1935/36. - Unveröff. Gutachten.

HELBING, C.-D. (1991): Zwischen Land und See. - Nationalpark 2/91, 4 S., Wilhelmshaven.

HEYKENA, A. (1965): Vegetationstypen der Küstendünen an der östlichen und südlichen Nordsee. - Mitt. Arbeitsgemeinschaft Floristik in Schleswig-Holstein u. Hamburg (13), 130 S., Kiel.

HOBOHM, C. (1993): Die Pflanzengesellschaften von Norderney. - Arbeiten aus der Forschungsstelle Küste **12**. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie: 202 S.

HOMM, T., DE BRUYN, U. & ECKSTEIN, L. (1994): Dynamik und Konstanz in der Moosflora der Insel Juist seit der Jahrhundertwende. - Drosera **'94** (1/2): 71-83.

KIEHL, K., EISCHIED, I., GETTNER, S. & WALTER, J. (1996): Impact of different sheep grazing intensities on salt marsh vegetation in northern Germany. - Journal of Vegetation Science **7**: 99-106, Uppsala.

KOPPE, F. (1979): Moosvegetation und Moosflora der Insel Juist. - Natur und Heimat **39** (1): 1-21, Münster.

LEEGE, O. (1935): Werdendes Land in der Nordsee. - Schriften des Deutschen Naturkundevereins N.F. **2**: 84 S., Oehringen.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

MAAREL, E. VAN DER, BOOT, R., DORP, D. VAN & RIINTJES, J. (1985): Vegetation succession on the dunes near Oostvoorne, The Netherlands; a comparison of vegetation in 1959 and 1980. - Vegetatio **58**: 137-187.

MAAREL, E. VAN DER (1996): Vegetation dynamics and dynamic vegetation science. - Acta Bot. Neerl. **45**(4): 421-442.

MARTSFELD-HARTMANN, A. (1994): Bestandsaufnahme und Kartierung der Vegetation des Südstrandpolders auf Norderney. - 37 S., Unveröff. Gutachten im Auftrage des Staatlichen Amtes für Insel- und Küstenschutz, Norden.

MUELLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H. (1974): Aims and methods of vegetation ecology. - 547 S., Whiley & Sons., New York.

NEUHAUS, R. & PETERSEN, J. (1999): Dunes. - In: DE JONG, F., BAKKER, J., VAN BERKEL, C., DANKERS, N., DAHL, K., GÄTJE, C., MARENCIC, H. and POTEL, P. (Hrsg.): Wadden Sea Quality Status Report. Wadden Sea Ecosystem No. 9. Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Quality Status Report Group: 53-56, Wilhelmshaven.

PETERS, M. & R. POTT (1999): Natur & Tourismus auf Norderney. - Abhandl. Westf. Museum f. Naturkde **61** (Beiheft): 174 S., Münster.

PETERSEN, J. (1999): Isoëto-Nanojuncetea- und Littorelletea-Gesellschaften der niederländischen, deutschen und dänischen Inseln des Wattenmeeres. - Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz, N.F. **17**: 355-368, Freiburg.

PETERSEN, J. (2000): Die Dünentalvegetation der Wattenmeer-Inseln in der südlichen Nordsee. Eine pflanzensoziologische und ökologische Vergleichsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzung und Naturschutz. - 336 S., Husum.

PETERSEN, J. (2000a): Dune slack vegetation of the Wadden Sea islands - ecology, phytosociology, nature conservation and management. - Wadden Sea Newsletter 2000-1, Wilhelmshaven.

PETERSEN, J., POTT, R. & RICHTER O. (2001): Dünentäler – Ein gefährdeter Lebensraum im Interessenkonflikt zwischen Naturschutz und Grundwasserbewirtschaftung. - Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 1/2: 1-18, Stuttgart.

PETERSEN, J. & WESTHOFF, V. (2001): Duinvalleien van Terschelling - de vegetatie in verleden en heden. – De Levende Natuur **102** (3): 114-117.

POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. - 622 S., Stuttgart.

POTT, R. (1995a): Farbatlas Nordseeküste und Nordseeinseln. - 288 S., Stuttgart.

POTT, R. & PETERSEN, J. (1999): The European reed beds and their ecology with an example from the Frisian islands in the Northern Sea. – Bulletin of Kansai Organization for Nature Conservation, Special Issue of International Workshop and Forum on Conservation of Reedbeds, 271-288, Japan.

POTT, R., FROMKE, A., PETERS, M., PETERSEN, J. & RIECK, K. (1999): Aktuelle geobotanische Forschung auf den Nordseeinseln. – Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. **11**: 39-108, Hannover.

RICHTER, O., D. SÖNDGERATH, M. BELDE, S. SCHWARTZ & B. SCHRÖDER (1997): Kopplung geographischer Informationssysteme (GIS) mit ökologischen Modellen für das Naturschutzmanagement. In: KRATZ, R. & F. SUHLING (Hrsg.): GIS im Naturschutz - Forschung, Planung, Praxis. Verlag Westarp Wissenschaften: 5-29, Magdeburg.

ROOZEN, A. & WESTHOFF, V (1985): A study on long term salt-marsh succesion using permanent plots. - Vegetatio **61**: 23-32.

RUNGE, F. (1972): Dauerquadrat-Beobachtungen bei Salzwiesen-Assoziationen. - In: TÜXEN, R. (Hrsg.): Grundlagen und Methoden der Pflanzensoziologie. - Ber. d. Int. Symp. d. Intern. Verein f. Vegetationskunde: 419-434. Den Haag.

RUNGE, F. (1975): 18-jährige Erfahrung mit Dauerquadraten. - In: TÜXEN, R. (Hrsg.): Sukzes-sionsforschung. - Ber. d. Int. Symp. d. Int. Verein f. Vegetationskunde: 39-52. Vaduz.

RUNGE, F. (1978): Sukzessionsstudien an einigen Pflanzengesellschaften Wangerooges. - Oldenburger Jahrbuch 75/76: 203-213. Oldenburg.

RUNGE, F. (1979): Dauerquadrat-Untersuchungen von Küsten-Assoziationen. - Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. **21**: 59-73.

RUNGE, F. (1984): Dauerquadrat-Untersuchungen von Küsten-Gesellschaften. - Tuexenia **4**: 153-161, Göttingen.

©Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (http://www.reinhold-tuexen-gesellschaft.de/)

RUNGE, F. (1987): Dauerquadrat-Beobachtungen an Küsten-Assoziationen. - Tuexenia **7**: 165-171, Göttingen.

RUNGE, F. (1989): Dauerquadrat-Untersuchungen auf den Nordseeinseln Juist und Baltrum. - Tuexenia **9**: 275-281, Göttingen.

SCHAMINÉE, J., STORTELDER, A. & WESTHOFF, V. (1995): De Vegetatie van Nederland 1. Inleiding tot de plantensociologie - grondslagen, methoden en toepassingen. - 296 S., Uppsala, Leiden.

SCHERFOSE, V. (1985): Die Vegetation des NSG Südstrandpolder auf Norderney. Gutachten im Auftrage des Niedersächsischen Landesamtes – Naturschutz, Landschaftspflege, Vogelschutz. - 164 S. u. Anhang, unveröffentlichtes Gutachten.

SCHERFOSE, V. (1989): Salzmarsch - Pflanzengesellschaften der Leybucht - Einflüsse der Rinderbeweidung und Überflutungshäufigkeit. - Drosera ´89 (1/2): 105-112.

SCHERFOSE, V. (1991): Vegetationsentwicklung im NSG Südstrandpolder auf Norderney. - Drosera **,91**(1/2): 111-126, Oldenburg.

SCHWABE, A. (1975): Dauerquadrat-Beobachtungen in den Salzwiesen der Nordseeinsel Trischen. - Mitt. Flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. **18**: 111-128. Todenmann, Göttingen.

TÜXEN, R. (1975, Hrsg.): Sukzessionsforschung. - Ber. Int. Symp. IVV (Rinteln 1973), 622 S., Vaduz.

VEEN, E. VAN DER, GROOTHJAANS, A., JONG, J. DE, & ROZEMA, J. (1997): Reconstruction of an interrupted primary beach plain succession using a Geographical Information System. - Journal of Coastal Conservation **3**: 71-78, Uppsala.

WESTHOFF, V. & OOSTEN, M. VAN (1991): De Plantengroei van de Waddeneilanden. - Stichting Uitgeverij KNNV **53**: 417 S., Den Haag.

WESTHOFF, V. (1947): The vegetations of dunes and salt marshes on the Dutch islands of Terschelling, Vlieland and Texel. - Dissertatie, Rijksuniversiteit Utrecht, 131 S., Utrecht.

WIJNEN H.J:, BAKKER, J.P. & Y. DE VRIES (1997): Twenty years of salt marsh succession on a Dutch coastal barrier island. - Journal of Coastal Conservation **3**: 9-18, Uppsala.

ZONNEVELD, L. (1993): Duinvallei Griltjeplak per ongeluk verzuurd. - De Levende Natuur **94**: 170-175.

Anschrift des Verfassers:
Dr. Jörg Petersen, Institut für Geobotanik der Universität Hannover, Nienburger Str. 17, D-30167 Hannover.
e-mail: Petersen@geobotanik.uni-hannover.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: 13

Autor(en)/Author(s): Petersen Jörg

Artikel/Article: Die Vegetation der Wattenmeer-Inseln im raum-zeitlichen Wandel - ein Beispiel für den Einsatz moderner vegetationsanalytischer Methoden 139-155