

WINDFELDSTUDIEN IN DÜNENGEBIETEN

Mit 6 Abbildungen und 4 Photos

PETER HÖLLERMANN

Summary: Airflow studies in dune fields

The field study of aeolian dynamics and dune patterns in remote areas is restricted by the general missing of specific wind data. In semiarid environments with some sparse vegetation the measurement and mapping of wind-shaped plants can be a helpful tool to find out the direction of the dominating airflow responsible for the sand drift and dune movement, and to register the mesoscale windfield. Two case studies of windfield mappings from dune fields on the Canary Islands (Spain) are presented in this paper. The results of the airflow studies are compared to morphometric and morphodynamic data in the dune fields and to the standard wind registrations of near-by meteorological stations.

In the dune field near Corralejo (NE-Fuerteventura, Photo 3) the unimodal trade-wind regime with dominating airflow from NNE brings about a sand flow and dune transfer in southern direction (mean annual rates of dune movement 4.5–6 m). The results of the plant-based windfield mapping (Fig. 4), the morphometric and morphodynamic dune studies, and the wind data of the Fuerteventura Airport (Fig. 3) are in reasonable conformity.

The dune field of Maspalomas with a transition of transverse dunes to an aklé pattern in the central part (Photo 4) is situated in the leeward position of southern Gran Canaria. The wind data of the meteorological station Gando Airport (eastern coast of Gran Canaria, Fig. 5) are not transferable to the Maspalomas dune field near the southern coast. The plant-based windfield mapping (Fig. 6) reflects the predominance of a diverted trade-wind flow from ENE to WSW (average direction from 80.5° ENE), that is in correspondence with the general direction of the sand and dune movement (about 2–5 m per year) and with the morphometric field data. Actually the Maspalomas dune field is subject to a complex wind regime, however, with the diverted trades from ENE and with sea breezes from W and S mainly in summer. The westerly breezes cause a temporary inversion of the asymmetric direction at the top of the dunes. The complex wind regime with opposite airflows in part favours the formation of the aklé dune pattern.

In conclusion, the windfield mapping based on wind-shaped plants proves to be not adequate for the correct recording of a complex wind regime, that needs additional field studies in different seasons of the year. Nevertheless, the plant-based airflow studies and mesoscale mappings give a reasonable and realistic information about the direction of the dominating winds and sand flow, while the calculation of wind speeds from the deformation rates of plants have the rank of gradual estimates only.

Zusammenfassung: Geländestudien zur äolischen Morphodynamik und Dünenformung in entlegenen Untersuchungsgebieten werden oft durch den Mangel lokalspezifischer Daten über das Windregime erschwert. In semiariden Gebieten mit offener Vegetation kann die Richtungsmessung und Kartierung windbedingter Deformationen von Pflanzen ein gutes Hilfsmittel sein, um das mesoskalige Windfeld und die Richtung der vorherrschenden Luftbewegungen zu erfassen, welche für die Sanddrift und Dünenverlagerung verantwortlich sind. Der Beitrag stellt zwei Fallstudien für Windfeldkartierungen in Dünenfeldern der Kanarischen Inseln (Spanien) vor. Die Ergebnisse dieser Windfeldstudien werden mit morphometrischen und morphodynamischen Daten aus den Dünengebieten sowie mit den Standard-Windmessungen nahegelegener meteorologischer Stationen verglichen.

Im Dünenfeld bei Corralejo (NE-Fuerteventura, Photo 3) führt das unimodale Passat-Regime mit vorherrschenden Winden aus NNE zur Sandverlagerung und Dünenbewegung in südliche Richtung (mittlere Jahreswerte der Dünenbewegung 4,5–6 m). Die Ergebnisse der pflanzengestützten Windfeldkartierung (Abb. 4), der morphometrisch-morphodynamischen Feldstudien an den Dünen sowie die Winddaten vom Flughafen Fuerteventura (Abb. 3) stehen in zufriedenstellender Übereinstimmung.

Das Dünenfeld von Maspalomas mit Übergängen von Transversaldünen zu einem aklé-artigen Muster im Zentralteil (Photo 4) befindet sich in leewärtiger Lage im Süden von Gran Canaria. Die Winddaten der Station Flughafen Gando (Ostküste von Gran Canaria, Abb. 5) lassen sich nicht auf das Maspalomas-Dünenfeld nahe der Südküste übertragen. Die pflanzengestützte Windfeldkartierung (Abb. 6) zeigt das Vorherrschen einer abgelenkten Passatströmung von ENE nach WSW (im Mittel aus 80,5° ENE), was mit der generellen Richtung der Sand- und Dünenbewegung (ca. 2–5 m/Jahr) sowie mit den morphometrischen Geländebefunden übereinstimmt. Tatsächlich unterliegt das Dünenfeld von Maspalomas jedoch einem komplexen Windregime, mit der abgelenkten Passatströmung aus ENE und mit Seewinden aus W und S, die vornehmlich im Sommer auftreten. Die Seewinde westlicher Herkunft führen zeitweilig zu einer Asymmetrieumkehr im Bereich der Dünenkuppen und -kämme. Das komplexe Windregime mit teilweise entgegengerichteten Luftbewegungen begünstigt die Bildung des aklé-artigen Dünenmusters.

So zeigt sich, daß die auf winddeformierte Pflanzen gestützte Windfeldkartierung für die exakte Erfassung eines komplexen Windregimes nicht ausreicht, wofür zusätzliche Geländeuntersuchungen in verschiedenen Jahreszeiten erforderlich sind. Desungeachtet liefern die pflanzengestützten Windfeldstudien und mesoskaligen Kartierungen nützliche und realistische Informationen über die Richtung der vorherrschenden Winde und der Sand- bzw. Dünenbewegung, während Rückschlüsse aus dem Deformationsgrad der Pflanzen auf die Windgeschwindigkeiten nur den Rang grober Skalenabschätzungen erreichen.

Einleitung und Zielsetzung

Bei Geländestudien der äolischen Morphodynamik und Dünenformung tritt oft das Problem auf, daß für entlegene Untersuchungsgebiete keine lokalspezifischen Informationen über das steuernde Windregime zugänglich sind. Da in den Trockenräumen der Erde das Netz der meteorologischen Stationen naturgemäß recht weitmaschig ist, stehen einschlägige Winddaten in der Regel nur punktuell und oft in erheblicher Distanz zum Ort der Feldstudien zur Verfügung. Dann stellt sich die Frage der Repräsentanz solcher Stationsdaten, zumal in Gebieten mit ausgeprägter Reliefgliederung mesoskalige Abwandlungen der großräumigen Zirkulation und Windsysteme auftreten.

Hinweise auf die Richtung der morphodynamisch wirksamen Winde lassen sich zwar unmittelbar im Gelände aus der Lage und Form von Sandablagerungen bzw. Dünen gewinnen (z. B. Verlauf der Windrippeln und Windstreifen, Richtung der Leedünen bzw. Sandwehen, Luv-Lee-Asymmetrie im Dünenprofil, Exposition der leeseitigen Rutschböschungen bzw. Slipfaces), doch wird dadurch zumeist nur eine begrenzte Zeitdauer der Windwirkung dokumentiert, dies allerdings in flächenhafter Ausbildung (vgl. z. B. STENDEL 1992).

Als bewährtes Hilfsmittel für eine weitmöglichst flächendeckende Erfassung des dominierenden mesoskaligen Windfeldes an der Landoberfläche bietet sich die Richtungsmessung und Kartierung windbedingter Deformationen von Pflanzen an (WEISCHET 1955 u. 1963; BARSCH 1963; YOSHINO 1964, 1966 u. 1973; HOLTMEIER 1978 u. 1996; HÖLLERMANN 1996). Abgesehen vom Windwurf als Ergebnis kurzfristiger Extremereignisse können windverformte Pflanzen als längerfristig gültige Indikatoren des lokal-regionalen Windfeldes gelten, wobei insbesondere die Richtung häufiger oder beständiger Winde angezeigt wird und sich aus dem Grade der Verformung auch gewisse Rückschlüsse auf die Windintensität ziehen lassen. Das wird in der einschlägigen Literatur näher diskutiert und an regionalen Beispielen vorgestellt.

Sofern in Trockensteppen und Halbwüsten noch eine hinreichende Dichte des Pflanzenbestandes vor-

handen ist, sollte die systematische Untersuchung und Kartierung der windbedingten Pflanzendeformationen flächenhafte Informationen über das dominierende lokal-regionale Windfeld von Dünengebieten liefern können. Die vom Wind verformten Pflanzen stellen dabei sozusagen geländegebundene Windfahnen dar, die integraler Ausdruck des herrschenden Windregimes (Windrichtung, -häufigkeit und -stärke) über einen längeren Zeitraum hinweg sind und nicht nur das Ergebnis der jüngsten Windwirkung festhalten wie die Beschaffenheit windausgesetzter Sand- und Dünenoberflächen. Die Befunde der dünenmorphologischen und pflanzenmorphologischen Windfeldstudien lassen sich untereinander und womöglich auch mit den Winddaten nahegelegener meteorologischer Stationen vergleichen. Dabei muß sich erweisen, ob und wieweit die Kartierung winddeformierter Pflanzen für die Erfassung des lokal-regionalen Windfeldes in Dünengebieten geeignet ist und als brauchbares Hilfsmittel bei Geländestudien der äolischen Morphodynamik und Dünenbewegung gelten kann. Dazu werden nachfolgend zwei Fallbeispiele von Dünenfeldern der Kanarischen Inseln vorgestellt, wo entsprechende Windfeldkartierungen und vergleichende Geländestudien mit begrenztem logistischen Aufwand durchzuführen waren und auch einschlägige meteorologische Vergleichsdaten besser zugänglich sind als in vielen anderen Trockengebieten. Die ausgeprägte Dominanz der Passatzirkulation mit größter Intensität und Richtungsbeständigkeit im trockenen Sommer (Abb. 1) liefert auf diesen subtropischen Inseln im östlichen Nordatlantik um 27° 30'–29° 30' N günstige Voraussetzungen für regelhafte windbedingte Pflanzendeformationen als Grundlage der Windfeldkartierungen. Dabei ist die vorherrschende Windrichtung der passatischen Grundschicht im Bereich des Kanaren-Archipels eher NNE als NE. Im Mittel von sechs küstennahen Stationen in Luvlage ergibt sich ein Wert von 15° NNE (Streuung von 8–22° NNE) (HÖLLERMANN 1996, 46). Der Windverformung ausgesetzte Pflanzenarten der Sand- und Dünengebiete sind u. a. *Nicotiana glauca*, *Tamarix* sp. und *Euphorbia paralias* (Photo 1 u. 2), weniger deutlich auch *Launaea arborescens*, *Lotus lancerottensis*, *Traganum moquinii* und andere Chenopodiaceen.

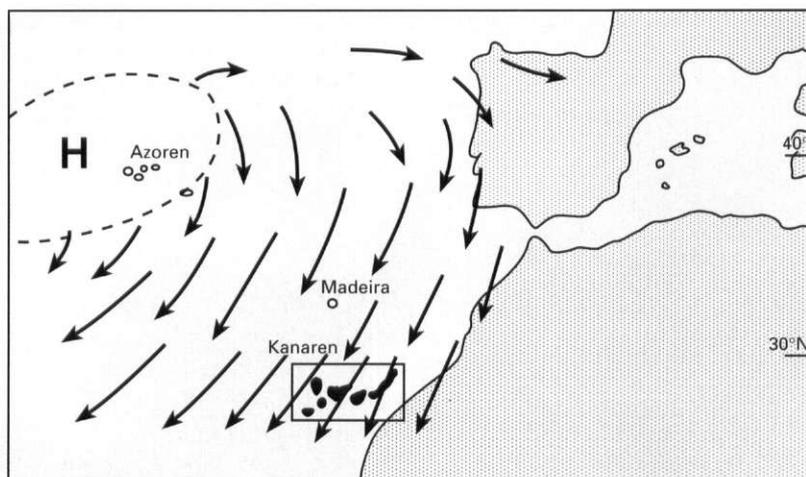


Abb. 1: Passatzirkulation über dem östlichen Nordatlantik im Nordsommer. Für den Kanarischen Archipel ergibt sich eine dominierende Strömung aus NNE

Trade wind circulation on the eastern Atlantic Ocean during the northhemispheric summer. The Canarian Archipelago is exposed to a dominant airflow from NNE

Beispiel 1: Das Dünengebiet von Corralejo/Oliva Beach in Nordost-Fuerteventura

Das Dünengebiet von Corralejo/Oliva Beach im Nordosten der Insel Fuerteventura bildet mit 17,2 km² Fläche das größte Sandfeld der Kanarischen Inseln. Seine Längserstreckung zwischen der Nordostküste beim Ort Corralejo (Photo 3) und dem Vulkanberg Montaña Roja (312 m) nahe der südlichen Peripherie erreicht 7–8 km, die mittlere Breite um 2,5 km. Geomorphologische Bearbeitungen erfolgten durch HÖLLERMANN (1982) und CRIADO HERNÁNDEZ (1987). Die Sandfelder und Dünen bestehen aus hellen Kalksanden (mittlerer Kalkgehalt 87–88%), die der Aufbereitung jungpleistozäner Paläodünen (Kalkarenite, Äolienite) entstammen (absolute Datierungen 46 000–15 000 Jahre b.p. nach RADTKE 1985; PETIT-MAIRE u. a. 1986 u. CRIADO HERNÁNDEZ 1987). Der hohe Kalkgehalt ist auf den biogenen Ursprung der Sande aus Kalk-Hartteilen von Organismen zurückzuführen (Abb. 2). Die mittlere Korngröße der Sandproben von den besonders windausgesetzten Dünenkuppen und -rücken („Firstsande“) liegt bei 0,3–0,4 mm, während am Luv- und Leefuß der Dünen auch feinere und besser sortierte Sande verbreitet sind.

Die räumliche Gliederung des Sand- und Dünengebietes kommt in Abbildung 4 zum Ausdruck. Das Einzugsgebiet im Norden – unmittelbar an die bebaute Siedlungsfläche von Corralejo anschließend (Photo 3) – weist neben freiliegenden Kalksandsteinen Sandfelder und flache Sandrücken sowie Sandwehen im Windschatten von Pflanzen (kleine Leedünen) auf. Dieser Abschnitt des Sandfeldes, der sich in ähnlicher Ausbildung entlang der westlichen Peripherie weiter nach

Süden fortsetzt, trägt noch eine verhältnismäßig dichte Halbwüstenvegetation. Im Zentralteil des Sandfeldes erreichen die Dünen ihre optimale Entwicklung und größte Höhe (meist um 4–6 m, vereinzelt bis über 8 m). Es überwiegen barchanoide Transversaldünen quer zur vorherrschend nördlichen Windrichtung mit ausgeprägter Luv-Lee-Asymmetrie (im typischen Fall mit relativ flacher Luvseite und steiler leeseitiger Rutschböschung bzw. Slipface mit 32–34° Neigung). Der Abstand der großen Querdünenrücken liegt meist zwischen 100–200 m, jedoch mit erheblichen lokalen Unterschieden. In diesem besonders mobilen Zentralteil des Dünengebietes ist der Pflanzenwuchs spärlicher und konzentriert sich vornehmlich auf die Senken zwischen den Dünen mit stabiler Oberfläche und besserer Wasserversorgung. Gegen den Südrand des Dünengebietes wird der bewegte Sand im ansteigenden Vorland der Montaña Roja und benachbarter Erhebungen abgebremst und größtenteils gegen Südosten zum Meer abgeführt. Die Querdünen nehmen im Süden an Größe und Formenprägnanz ab; sie lösen sich in Sandhügel, Sandfahnen und Sandfelder auf, zwischen denen die dunkle basaltische Unterlage zum Vorschein kommt. An der Ostseite wird das Sand- und Dünengebiet von einem flachen Sandstrand gesäumt, an den sich landwärts rundliche, 1,5–3 m hohe Sandkuppen mit Halophytenbewuchs anschließen, ehe der Übergang zum mobilen Zentralteil des großen Dünengebietes erfolgt (Abb. 4).

Die dem Dünengebiet nächstgelegene meteorologische Station findet sich 25–30 km weiter südlich am Flughafen Fuerteventura (mittlere Jahrestemperatur 20,5°C, mittlere Jahresschwankung 6,5°, mittlere Jah-



Photo 1: Windgeformtes Tamarisken-Gehölz auf einer Dünenkuppe im Nordwest-Teil des Dünenfeldes von Maspalomas/ Playa del Inglés (Gran Canaria). Daraus abgeleitete Windrichtung 90–100° E. Die leewärtigen Wurzeln wurden durch Abblasung freigelegt (Aufnahme: Dezember 1996)

Wind-shaped Tamarix shrub on a coppice dune, northwestern section of the Maspalomas/Playa del Inglés dunefield (Gran Canaria). Derived wind direction from 90–100° E. The windward root system was exposed by deflation (Photo: December 1996)

res-Niederschlagssumme 1970–1984 78 mm). Das Dünengebiet bei Corralejo und der Flughafen Fuerteventura sind durch ihre Lage an der Ostküste der Insel vergleichbar, so daß die vorherrschende Passatströmung aus NNE dort weitgehend ungehindert vom Meer auf das wenig reliefierte Land übertreten kann. Für das Corralejo-Sandfeld ist allerdings eine Beeinflussung der Luftbewegungen durch die im Nordosten vorgelagerten Inseln Lobos und Lanzarote nicht auszuschließen (CRIADO HERNÁNDEZ 1987, 34; vgl. auch die Lanzarote-Windfeldkartierungen in HÖLLERMANN 1991b u. 1996). Aus der graphischen Darstellung der Winddaten vom Flughafen Fuerteventura (Abb. 3, nach Material des DWD) läßt sich entnehmen, daß dort in den Sommermonaten Juli–August die Passatströmung aus dem NNE-Sektor (Nord und Nordost) über 90% aller gemessenen Windrichtungen ausmacht, in den Wintermonaten Dezember–Januar immerhin noch 40–60% (nur tageszeitliche Windregistrierungen von 6–18 h für die Jahre 1982–1986). Im Jahresmittel haben die nördlichen und nordöstlichen Winde einen

Anteil von rund 70%. Die Winde aus NNE erreichen zugleich auch die höchsten Windgeschwindigkeiten. Bei den tageszeitlichen Werten der Periode 1982–1986 liegt das Jahresmittel um 6,9 m/sec, für die NNE-Richtung jedoch bei 8,0 m/sec. Längerfristig und unter Einschluß der Nachtwerte ergeben sich allerdings etwas geringere Stärken (1970–1984 mittlere Jahresgeschwindigkeit 5,5 m/sec, mittlere Windstärke aus NNE 7,1 m/sec, nach CRIADO HERNÁNDEZ 1987, 36). „Sandwinde“, d. h. unter Stationsnorm gemessene Windstärken über 6 m/sec, welche die Grenzggeschwindigkeit der Sandmobilisierung am Boden übertreffen (in 15 cm Höhe über dem Boden 4,2–4,5 m/sec), werden am Flughafen Fuerteventura bei 70–75% aller tageszeitlichen Windmessungen erreicht bzw. überschritten. Fast 80% dieser „Sandwinde“ kommen aus Nord und Nordost und sind damit der Passatströmung zuzuordnen, die im Sommer ihre beständigste und wirksamste Ausprägung findet. Die Anemo-Isoplethen-Darstellung in Abbildung 3 zeigt, daß die stärksten mittleren Luftbewegungen in den Nachmittagsstunden



Photo 2: Winddeformierte Pflanzen im Dünenfeld von Corralejo/Oliva Beach (NE-Fuerteventura). Im Vordergrund *Lotus lancerottensis* und *Euphorbia paralias*, hinten Kameldorn-Büsche (*Launaea arborescens*). Daraus abgeleitete Windrichtung 10° NNE (von links nach rechts) (Aufnahme: Januar 1987)

Wind-shaped plants in the dunefield of Corralejo/Oliva Beach (NE-Fuerteventura). In front *Lotus lancerottensis* and *Euphorbia paralias*, further behind aulaga-shrubs (*Launaea arborescens*). Derived wind direction 10° NNE (from left to right) (Photo: January 1987)

der Sommermonate auftreten. Einen ausgeprägten Tagesgang mit mittleren Maxima über 6 m/sec am frühen Nachmittag ergaben auch die während der Geländearbeiten im Dünenfeld durchgeführten Windmessungen in 2 m Höhe. Die aus den „Sandwinden“ berechnete resultierende Richtung maximaler Windenergie (bestimmt als Vektor-Resultante der Produkte Windrichtungshäufigkeit \times Windstärke $>$ 6 m/sec für die verschiedenen Richtungen) beträgt für den Flughafen Fuerteventura 8° NNE.

Den dominierenden und besonders kräftigen Winden aus nördlichen Richtungen entsprechen gegen Süden gekehrte steile Leeböschungen („Slipfaces“) der barchanoiden Transversaldünen. Messungen der Steilhangexposition der Dünen im Juli 1979 und im August 1996 ergaben Mittelwerte zwischen 170 und 180° SSE. Da diese Meßergebnisse von der jeweiligen Richtung der vorangegangenen Sandwinde und deren zeitlicher Variabilität abhängen, liefert die Dünenmorphometrie offenbar nur Informationen von eingeschränkter zeitlicher Gültigkeit. Dementsprechend fand sich bei

längerfristigen (10jährigen) Richtungsmessungen von Dünensymmetrieachsen im Zentralteil des Sandfeldes ein Mittel von 10° NNE–190° SSW, das eher den mittleren Windverhältnissen entsprechen dürfte.

Darum sollte eine im August 1996 durchgeführte Meßkampagne erweisen, ob die Auswertung und Kartierung der windbedingten Pflanzendeformationen eine repräsentativere Erfassung des für die äolische Morphodynamik wirksamen vorherrschenden Windfeldes ermöglichen kann. Obwohl irreguläre Abweichungen der Deformationsrichtung im subskaligen Bereich vorkommen (z. B. durch Wirbelbildung im Lee großer Dünen), fügen sich die Ergebnisse der Messungen und Kartierung zu einem übersichtlichen Windfeld-Muster zusammen (Abb. 4). Im Einzugsgebiet bei Corralejo tritt die dominierende Passatströmung aus annähernd nördlicher Richtung vom Meer auf das Land über und biegt im weiteren Verlauf des Dünenfeldes dann leicht landeinwärts ein. Dabei dürfte ein Einfluß der an wolkenarmen Sommertagen besonders wirksamen Aufheizung des Hinterlandes beteiligt sein,

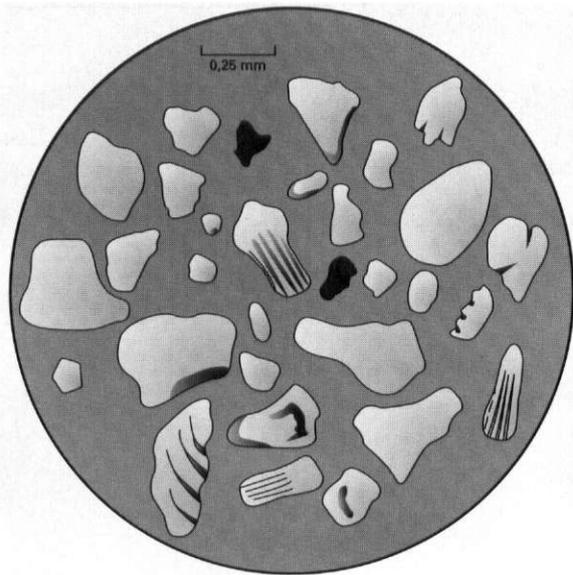


Abb. 2: Dünensand aus NE-Fuerteventura in mikroskopischer Sicht. Helle Kalksandkörner überwiegen gegenüber dunklen Körnern basaltischer Herkunft. Viele Kalksandkörner zeigen noch Strukturen aus ihrem organogenen Ursprung (Muschel- und Schneckenschalen, Seeigel-Stacheln u.a.)

Dune sand from NE-Fuerteventura in microscopic view. The light carbonate sand prevails as against the dark grains of basaltic origin. Many carbonate grains still show marks of organic structures (shells of molluscs resp. gastropods, spines of echinoderms et al.)

so daß sich tagsüber Passatströmung und Seewind überlagern und verstärken. Im Mittel aller in die Windfeldkartierung eingegangenen Meßwerte ($n = 132$) ergibt sich für das Sand- und Dünenfeld eine vorherrschende dominierende Windwirkung aus 11° NNE gegen 191° SSW (im Nordteil aus $8,7^\circ$ NNE, im Südteil aus $18,7^\circ$ NNE). Somit weicht die bei der Messung und Kartierung der Pflanzendeformationen im Sand- und Dünenfeld ermittelte vorherrschende Windrichtung (aus 11° NNE) von der resultierenden Richtung der Sandwinde am Flughafen Fuerteventura (aus 8° NNE) nur unwesentlich ab. Es entspricht zudem den längerfristigen Messungen der Symmetrieachsen von Dünen im Zentralteil des Sandfeldes (10° NNE im 10jährigen Mittel).

Im unimodalen, durch die Passatströmung beherrschten Windregime werden Sand und Dünen in südwestliche Richtung verlagert. Bewegungsmessungen an zwei ausgewählten, 4,5–5 m und 8 m hohen barchanoiden Querdünen im Zentralteil des Sandfeldes ergaben im Mittel der nunmehr 16–17jährigen

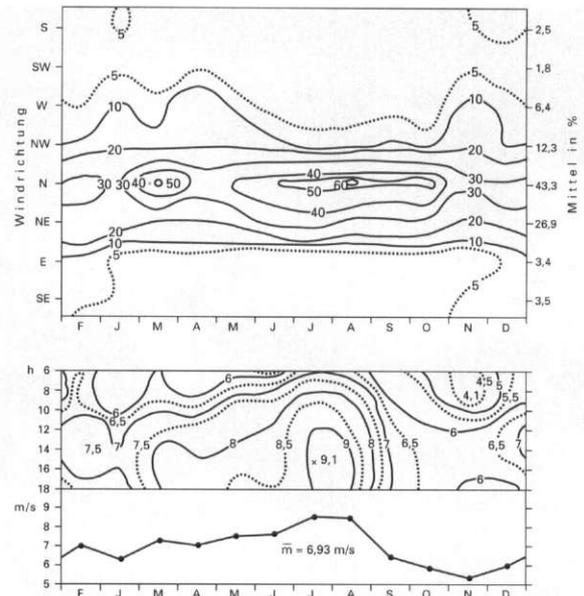


Abb. 3: Winddaten vom Flughafen Fuerteventura (1982–1986, nach DWD)

Oben: Jahreszeitliche Variation der Windrichtungen in % (ohne Kalmen, Tageswerte 6–18 h). Unten: Anemo-Isoplethen und Monatsmittel der Windstärke (Tageswerte 6–18 h)

Wind data of Fuerteventura Airport (1982–1986, after DWD)

Above: annual variations of wind directions in per cent (daytime 6–18 h). Below: Anemo-isopleths and monthly means of wind speed (daytime 6–18 h)

Beobachtungsperiode (seit 1979/80) südwestliche Dünenbewegungen von 4,5–6 m pro Jahr, wovon 65–75% auf das Sommerhalbjahr mit der dann besonders ausgeprägten und richtungsbeständigen Passatströmung entfallen.

Eine erklärungsbedürftige Diskrepanz zwischen der Windfeld-Darstellung (Abb. 4) und den morphologischen Geländebefunden besteht freilich noch für das Südende des Sand- und Dünenfeldes. Nach dem Strömungsfeld der Abbildung 4 wäre dort ein landeinwärts gegen Südwest gerichteter Sandtransport zu erwarten, während die Geländebeobachtungen auf eine Verlagerung gegen Südsüdost zum Meer hinweisen (so auch in Fig. 3 bei CRIADO HERNÁNDEZ 1987, 34). Nun ist die pflanzengebundene Windfeldkartierung gerade im Südteil am unzuverlässigsten, weil dort nur relativ wenige winddeformierte Pflanzen anzutreffen sind, bei denen zudem eine große Streuung der Deformationsrichtungen vorliegt. Durch die Aufragung der Montaña Roja (312 m) wird wahrscheinlich eine Strömungsdivergenz im Windfeld hervorgerufen, deren meer-

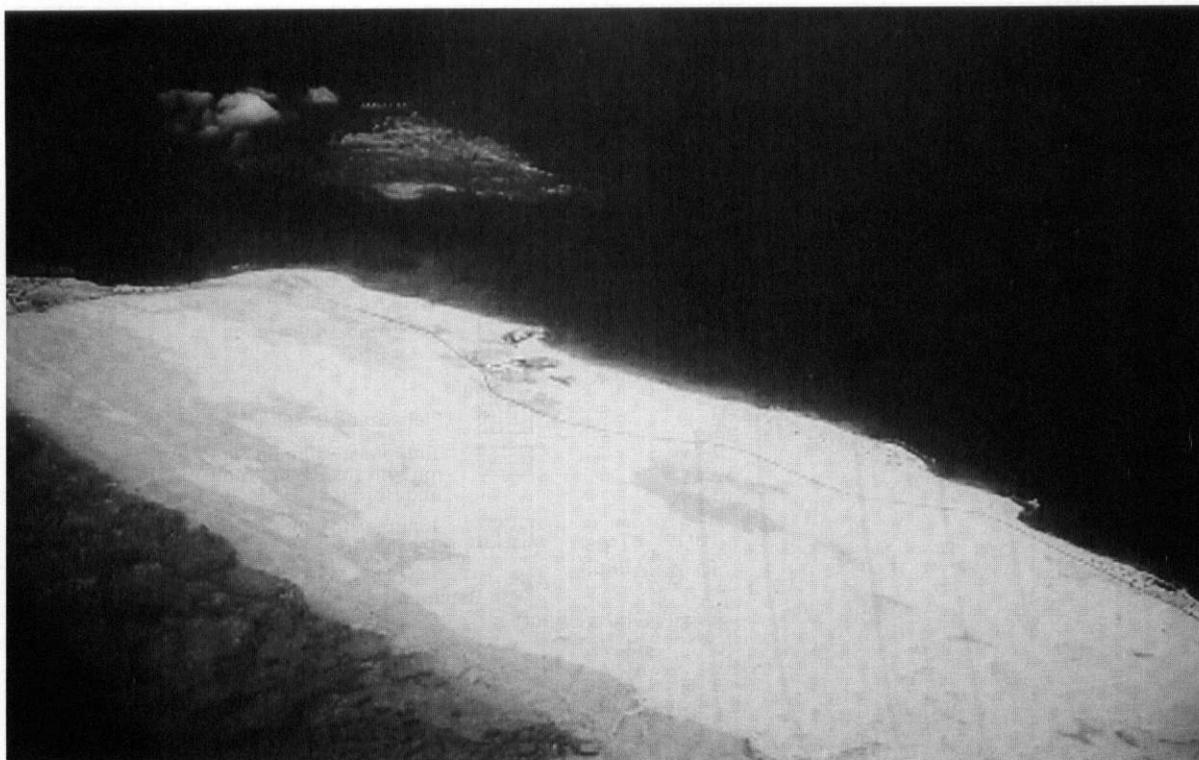


Photo 3: Luftaufnahme des Sand- und Dünelfeldes von Corralejo-Oliva Beach im Nordosten von Fuerteventura. Links der Ortsrand von Corralejo am Nordrand des Dünelfeldes, im Hintergrund die Insel Lobos (Aufnahme: 18. 3. 1996). Die Dünenbewegung erfolgt von links oben (Norden) nach rechts unten (Süden). Siehe dazu auch Abbildung 4

Aerial view of the sand- and dune field near Corralejo and Oliva Beach in Northeastern Fuerteventura. The outskirts of Corralejo to the left at the northern margin of the sandfield, Lobos Island in the background (Photo: 18. 3. 1996). Dune movement from the left (north) to the right (south). Compare with the map Fig. 4

naher Zweig leicht ablandig gegen Südsüdost gerichtet ist. Ein Sandtransport landeinwärts gegen Südwest ist durch das ansteigende Gelände mit ausgeprägter Reliefgliederung und damit erhöhter Oberflächenrauigkeit erschwert. Zudem findet ein gelegentlicher Sandtransport ostwärts zum Meer beim torrentiellen Abkommen des Barranco de las Pilas statt. So liefert die Windfeld-Darstellung der Abbildung 4 für den Südrand des Sand- und Dünelfeldes wohl ein zu sehr vereinfachtes Bild und bedarf der Korrektur oder Präzisierung.

Insgesamt erweist sich im unimodalen Windregime Nordost-Fuerteventuras die Einmessung und Kartierung windbedingter Pflanzendeformationen als ein gut geeignetes und leicht einsetzbares Verfahren zur Erfassung des dominierenden Windfeldes. Die Ergebnisse stehen mit den Winddaten der nächstgelegenen Station am Flughafen Fuerteventura in zufriedenstellender Übereinstimmung, können demgegenüber aber den Vorteil einer flächendeckenden Information bzw. räumlichen Auflösung bieten.

Beispiel 2: Das Dünengebiet von Maspalomas/Playa del Inglés im Süden von Gran Canaria

Das zweite Beispiel eines Sand- und Dünengebietes liegt nicht wie im ersten Fall im Luv der normalen Passatströmung (d. h. an der Nord- bzw. Nordostseite einer Insel), sondern weitgehend in deren Lee an der Südseite der Insel Gran Canaria. Das Gebiet Maspalomas/Playa del Inglés ist wohl das bekannteste und zugleich das am stärksten unter touristischem Druck stehende Dünengebiet der Kanarischen Inseln. Vom gebirgigen Hinterland wird es durch die Reihe der Touristensiedlungen der „Costa Canaria“ (San Agustín, Playa del Inglés, Sonnenland/Campo de Golf, Maspalomas) abgeschnitten. Die Flächenausdehnung dieses Sand- und Dünengebietes erreicht lediglich um 4 km² mit einer Maximalerstreckung von 3 km in Ost-West-Richtung und von 1–2 km in Süd-Nord-Richtung. Die Dünen liegen auf dem tiefsten und zugleich jüngsten meernahen Abschnitt eines terrassierten Fanglomerat-Schwemmfächers (Barranco de Fataga), der halbinselartig südwärts gegen das Meer vorgreift (Photo 4 u.

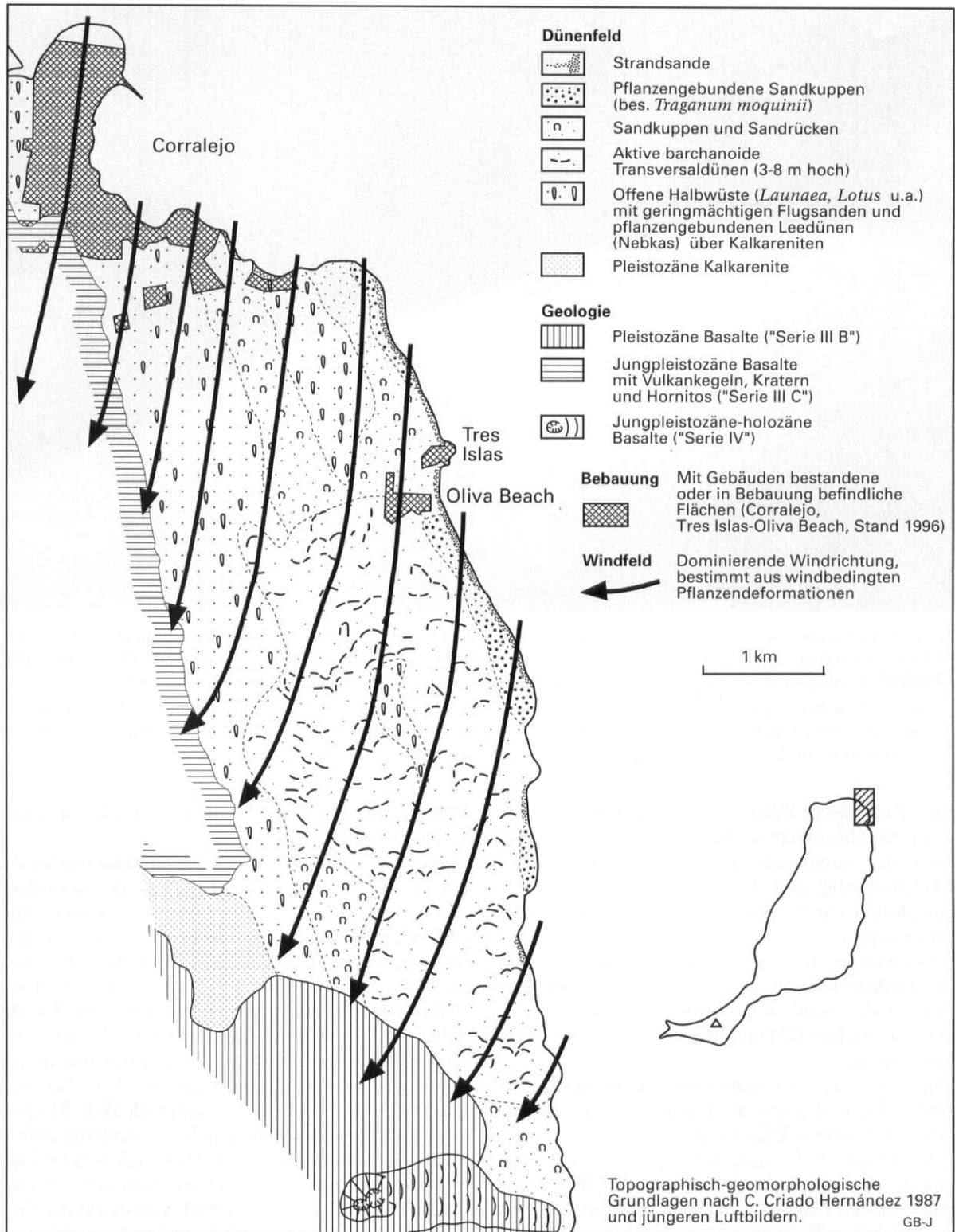


Abb. 4: Windfeldkartierung im Dünenfeld südlich von Corralejo (Nordost-Fuerteventura)
 Mapping of the windfield in the dune field near Corralejo (NE-Fuerteventura)

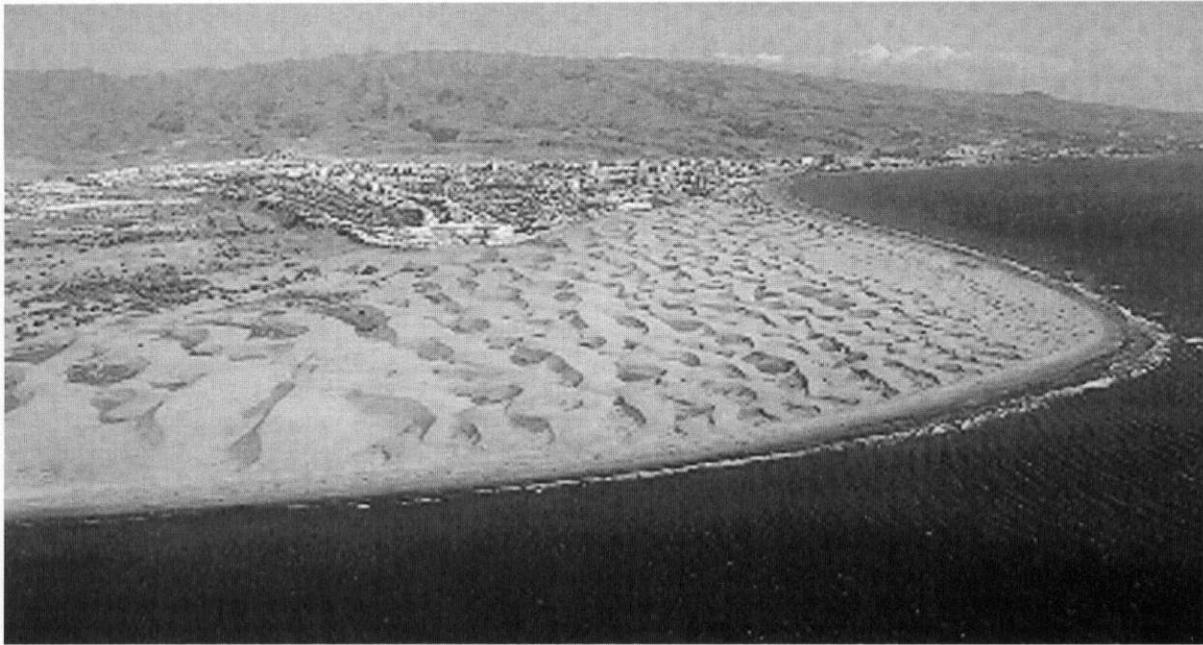


Photo 4: Luftaufnahme des Dünenfeldes von Maspalomas/Playa del Inglés im Süden von Gran Canaria. Rechts der Strand Playa del Inglés, Vordergrund Playa de Maspalomas. Nördlich des Dünenfeldes die Touristensiedlung Playa del Inglés in Terrassenlage (käufliche Postkarte). Dünenbewegung von recht (Ostnordost) nach links (West-südwest). Siehe dazu auch Abbildung 6

Aerial view of the Maspalomas dunefield in southern Gran Canaria. The beach of Playa del Inglés to the right, Playa de Maspalomas in front. North of the dunefield the tourist resort of Playa del Inglés in terrace position (commercial postcard). Dune movement from the right (ENE) to the left (WSW). Compare with the map Fig. 6

Abb. 6). Die geomorphologische Situation und Morphogenese wurde durch KLUG (1968) und LIETZ (1973) näher erörtert; mit den Dünen beschäftigten sich eingehend PRIESMEIER (1973) und MARTÍNEZ MARTÍNEZ u. a. (1986).

Die Luftaufnahme (Photo 4) und die Kartenskizze (Abb. 6) lassen die Lage und räumliche Untergliederung des Sand- und Dünenfeldes erkennen. Im Osten schließt sich an den Badestrand der Playa del Inglés zunächst ein südwärts auskeilender Streifen mit festliegenden, von salztoleranten Pflanzen bewachsenen Sandkuppen an. Weiter westlich leiten freie barchanoide Dünen und Dünenreihen (um 3–4 m Höhe) zum zentralen Dünen-Hauptfeld über. Dort überwiegen gereihete Barchane bzw. barchanoide Transversaldünen, deren Höhe bis auf 10–15 m anwachsen kann. Die durchschnittliche Dünenhöhe geht allerdings nur wenig über 5 m hinaus (MARTÍNEZ MARTÍNEZ u. a. 1986, 25f). Im Zentralteil sind die Dünenreihen auch miteinander verbunden bzw. untereinander vernetzt (Photo 4) und bilden damit ein wenig übersichtliches komplexes Muster, das den sog. „Aklé-Dünen“ des nordafrikanisch-saharischen Raumes nahekommt. Die frischen und unbewachsenen Dünenformen setzen sich

im Südteil des Sandfeldes parallel zur Südküste (Playa de Maspalomas) westwärts bis zur Lagune von Maspalomas fort. Im Nordwestteil des Sandfeldes (Richtung Golfplatz und im Windschatten des östlich vorgelagerten Terrassenkeiles) sind die Dünen und Sandflächen dichter bewachsen (Photo 4), unregelmäßiger ausgebildet und in ihrer Aktivität eingeschränkt. Dort sind auch Ausblasungsformen anzutreffen.

Die Dünen von Maspalomas/Playa del Inglés bestehen ebenfalls aus organogenen Kalksanden, wobei der Kalkgehalt aber großen räumlichen und zeitlichen Unterschieden unterliegt. Die Strandsande sind gewöhnlich kalkärmer als die Dünensande (so schon PRIESMEIER 1973, 69). Im Dünenfeld selbst nimmt der Kalkgehalt unserer untersuchten Proben in der Regel von Nordosten nach Südwesten sowie von der Peripherie zum Kern zu, so daß die Firstsande der zentralen Dünenkuppen und -kämme Kalkanteile von 65–70% erreichen, während es die überwiegend festliegenden Dünen und Sandfelder im dichter bewachsenen Nordwestteil nur auf rund 45% bringen. Die mittlere Korngröße der Firstsande aktiver Dünen liegt um 0,20–0,25 mm, ist jedoch gleichfalls erheblichen räumlichen und zeitlichen Unterschieden unterworfen.

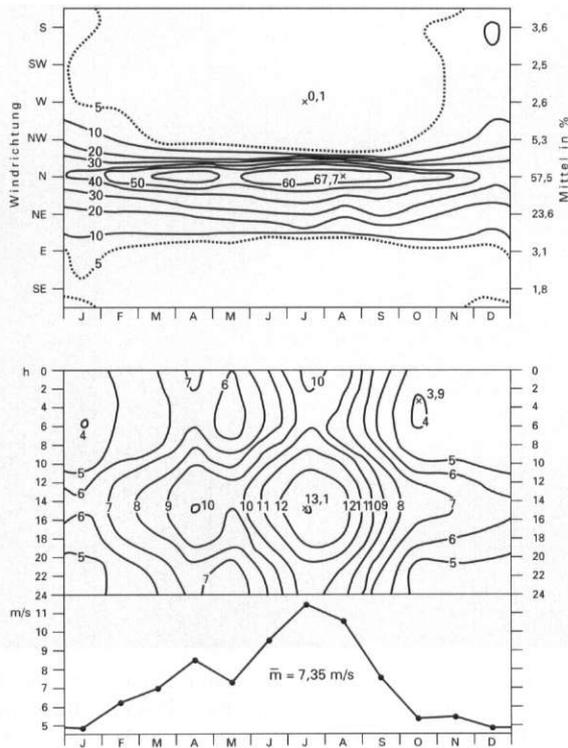


Abb. 5: Winddaten vom Flughafen Gando, Gran Canaria (1987–1993, nach DWD)

Oben: Jahreszeitliche Variation der Windrichtungen in % (ohne Kalmen). Unten: Anemo-Isoplethen und Monatsmittel der Windstärke

Wind data of Gando Airport, Gran Canaria (1987–1993, after DWD)

Above: annual variations of wind directions in per cent. Below: Anemo-isopleths and monthly means of wind speed

Die mobilen barchanoiden Dünen, gereihten Barchane und Transversaldünen kehren gewöhnlich ihre sanfte Luvseite gegen Ost bzw. Ostnordost, die steile Leeböschung (meist als 32–34° geneigte Rutschböschung bzw. Slipface) gegen West bzw. Westsüdwest. Daher liegt auf der Hand, daß die für Dünenform und Dünenbewegung maßgeblichen Winde vornehmlich aus der Ost- bzw. Ostnordostrichtung kommen. Systematische und langfristige Messungen der Dünenverlagerung liegen nicht vor; nach NADAL u. GUITIAN (1983, zitiert bei MARTÍNEZ MARTÍNEZ u. a. 1986, 92) sollen die Dünen um 2–5 m pro Jahr von Ost gegen West wandern.

Die nächstliegende meteorologische Station mit regelmäßigen Windmessungen ist der Flughafen Gando ca. 30 km nordöstlich der Maspalomas-Dünen an der Ostküste von Gran Canaria (mittlere Jahrestemperatur 20,1°C, mittlere Jahresschwankung 7,9°,

mittlere Jahresniederschlagssumme 1941–1960 171 mm). Das dortige unimodale, stark passatdominierte Windregime paßt jedoch nicht zu den Geländebefunden im Sand- und Dünenfeld von Maspalomas/Playa del Inglés. Der graphischen Darstellung der Winddaten von Gando (Abb. 5) ist zu entnehmen, daß im Jahresmittel die Passatströmung aus Nord (57,5%) und Nordost (23,6%) einseitig dominiert (zusammen also 81,8%). Dieser Anteil erreicht in den Sommermonaten bis über 90%, in den Wintermonaten immerhin noch um 60%. Im Winter spielen auch westliche Winde mit gut 20% eine Rolle (NW, W, SW), die im Sommer ohne Bedeutung sind. Das Anemo-Isoplethendiagramm der mittleren Windstärken in Abbildung 5 dokumentiert, daß das größte Potential für die Sanddrift während der sommerlichen Tagesstunden erreicht wird. Die Monatsmittel der Windstärke liegen zwischen 4,8 m/sec (Januar) und 11,4 m/sec (Juli) bei einem Jahresmittel von 7,35 m/sec (nach Winddaten des DWD 1987–1993). Tagesperiodisch werden die höchsten Windgeschwindigkeiten nachmittags zwischen 14 und 16 Uhr erreicht. Die resultierende Vektorrichtung des Driftpotentials errechnet sich für den Flughafen Gando zu 12° NNE und weicht damit nur wenig vom Vergleichswert am Flughafen Fuerteventura ab (8° NNE). Die Lage der Station Gando auf einer gegen das Meer vorspringenden Halbinsel der Ostküste Gran Canarias dürfte die ausnehmend hohen Windgeschwindigkeiten und den außergewöhnlichen Anteil nördlicher (= küstenparalleler) Winde erklären. Auf das Dünenfeld von Maspalomas/Playa del Inglés im äußersten Süden der Insel sind die Winddaten der Station Flughafen Gando nicht zu übertragen. Auch steht der mittlere Jahresniederschlag von Maspalomas (93 mm) gegenüber Gando (171 mm) deutlich zurück (MARZOL JAEN 1988, 60f).

Die Gestalt der Insel Gran Canaria, die einem Kugelsegment vergleichbar ist und im zentralen Bergland bis 1950 m Höhe aufragt, führt zu einer Ablenkung im passatischen Strömungsfeld. Die kräftige Nordströmung entlang der Ostküste (Flughafen Gando) schwenkt weiter südlich mit der Inselgestalt bzw. dem Küstenverlauf um und geht schließlich in Winde aus östlichen Richtungen über, die für das Sand- und Dünengebiet von Maspalomas am Süden der Insel vorrangige Bedeutung haben. Dort ist der Playa del Inglés ostwärts auch ein breiter Schelfsaum vorgeklagert, der bei abgesenktem Meeresspiegel als Sandliefergebiet dienen konnte. Die mesoskalige Ablenkung im passatischen Strömungsfeld durch die orographischen Hindernisse der Kanarischen Inseln (HÖLLERMANN 1996) findet im Windschatten über dem Meer möglicherweise ihre Fortsetzung durch die Bildung von

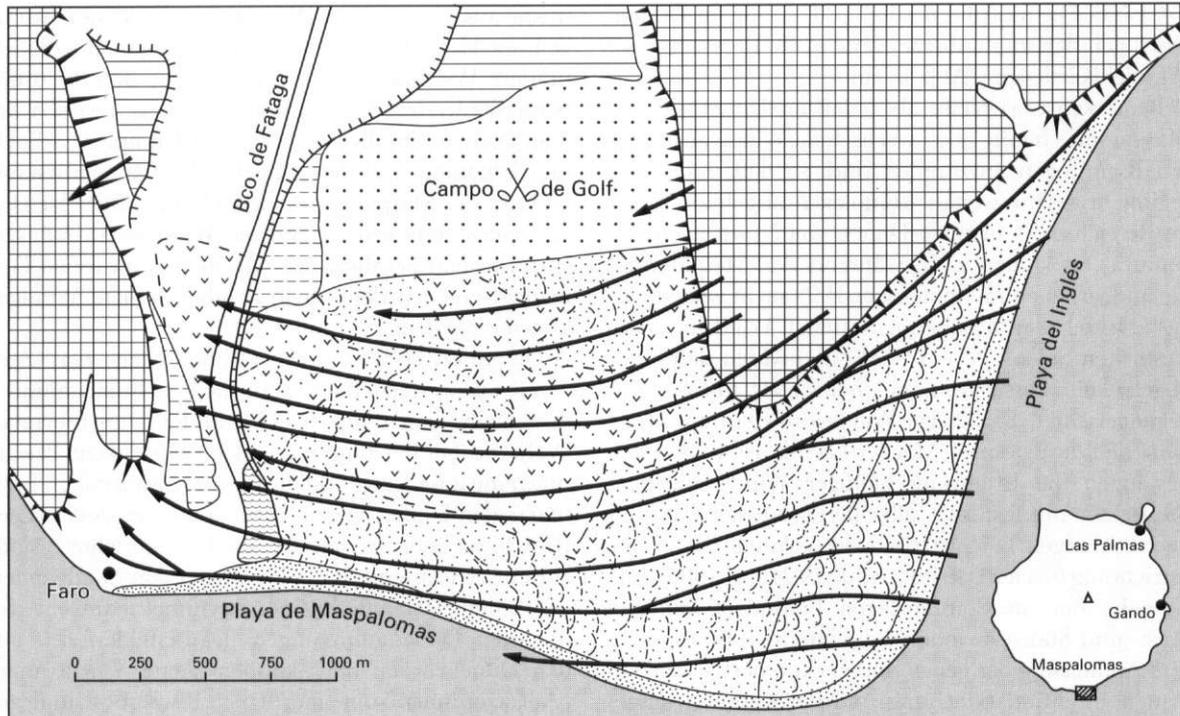


Abb. 6: Windfeldkartierung im Dünenfeld von Maspalomas-Playa del Inglés (Süden von Gran Canaria)
 Mapping of the windfield in the dune field of Maspalomas-Playa del Inglés (Southern Gran Canaria)

Leewirbeln und -wellen (vgl. TABEAUD 1982) bzw. die aus Satellitenbildern bekannten „Karman’schen Wirbel-Straßen“.

Die reliefbedingte Ablenkung der Passatströmung im Bereich des Sand- und Dünenfeldes von Maspalomas/Playa del Inglés kommt in den Ergebnissen der Windfeldkartierung auf der Grundlage windbedingter Pflanzendeformationen deutlich zum Ausdruck (Abb. 6). Für den Ost- und Nordteil des Gebietes ergeben sich aus den Richtungen der Pflanzenverformungen vorherrschende Winde aus 50–70° NE, für den Süd- und Westteil solche aus 70–110° E. Insgesamt liegt also ein Umbiegen der abgelenkten Passatströmung in Anpassung an das Relief und an den Küstenverlauf vor. Als Mittel für das gesamte Sand- und Dünenfeld errechnet sich eine Luftströmung aus 80,5° ENE, die letztlich für die Hauptverlagerung der Wan-

derdünen von der Playa del Inglés im Osten bis zum Barranco de Fataga im Westen verantwortlich ist.

Das stimmt auch mit den morphometrischen Felddaten gut überein. Nach den detaillierten Dünenstudien der Arbeitsgruppe von MARTÍNEZ MARTÍNEZ u. a. (1986) verläuft die Symmetrieachse der Dünen in Übereinstimmung mit der Hauptwindrichtung von 79° ENE nach 259° WSW, während sich aus der Gestalt und Ausrichtung der Dünen auf eine resultierende Richtung der wirksamen Winddrift von 81° ENE nach 261° WSW schließen läßt, was dem Mittelwert unserer pflanzengestützten Windfeldkartierung entspricht. Eigene Messungen der Exposition der leewärtigen Dünen-Steilböschungen (Slipfaces) im September 1992 (n = 52) und Dezember 1996 (n = 79) ergaben Mittelwerte um 256,5° WSW bzw. 257,5° WSW, entsprechend einer effektiven Winddriftrichtung aus ca.

77° ENE. Die morphometrischen Befunde im Dünenfeld fügen sich somit überzeugend in die Ergebnisse der Windfeldkartierung (Abb. 6) ein.

Bemerkenswert bleibt aber, daß im Dünenfeld von Maspalomas häufig auch wechselnde Winde aus anderen Richtungen anzutreffen sind, so daß das Windregime insgesamt weitaus komplexer ausgebildet ist als im Bereich der Corralejo-Dünen von Nordost-Fuerteventura. So kamen z. B. während der Maspalomas-Geländearbeiten im September 1992 nicht weniger als zwei Drittel aller tagsüber gemessenen Winde aus dem westlichen Sektor (NW, W, SW) und waren damit der abgelenkten Passatströmung mehr oder minder entgegengerichtet. Einjährige Windmessungen am Hotel Faro de Maspalomas (März 1984 bis Februar 1985) bestätigen die Erfahrung häufiger Winde aus dem Westsektor mit fast 50% aller tageszeitlichen Terminbeobachtungen bei nur rund 30% Anteil der Nordostrichtung (nach MARTÍNEZ MARTÍNEZ u. a. 1986, 20f). Ursache der an Sommertagen besonders häufigen West- und Südwestwinde ist die intensive Bestrahlung und Aufheizung der gegen Süden exponierten wolkenarmen Insel-Südabdachung und der dadurch ausgelöste Zustrom aufländiger Seewinde an der Südküste. Im Dünengebiet von Maspalomas/Playa del Inglés greifen diese tageszeitlichen Seewinde aus westlichen und südlichen Richtungen auf das Land über und schwächen dann als gegenläufige Winde die abgelenkte Passatströmung aus Ostnordost in ihrer Häufigkeit und Intensität ab. Anders als im typischen Fall der Zirkulation im Bereich der Kanaren erreicht der Passat darum im Süden von Gran Canaria nicht im Sommer seine größte Beständigkeit, Stärke und morphodynamische Wirksamkeit, sondern in den Winter- und noch mehr in den Frühjahrsmonaten. Es liegt kein einfaches unimodales, sondern ein komplexes Windregime vor (zur Benennung und Definition der Windregime siehe FRYBERGER 1979).

Das komplexe Windregime im Süden von Gran Canaria kommt bei der auf Pflanzendeformationen gestützten Windfeldkartierung (Abb. 6) allerdings nicht zum Ausdruck. Diese spiegelt vielmehr den dominierenden Einfluß der abgelenkten Passatströmung aus Ostnordost wieder, welche die maßgebliche Antriebsenergie für die Sand- und Dünenbewegung liefert. Gelegentlich weisen windexponierte Tamarisken-Gehölze auf Dünenkuppen einander entgegengerichtete zweiseitige Windfahnen auf, so vor allem im Nord- und Westteil des Sand- und Dünenfeldes. Darauf läßt sich aber keine verlässliche Windfeldkartierung stützen. Offenbar sind die westlichen Luftströmungen weniger richtungsbeständig und vielleicht auch weniger kräftig als die morphodynamisch dominierende Passatströ-

mung aus Ostnordost. Die einjährigen Windmessungen am Hotel Faro de Maspalomas ergaben lediglich mittlere Windstärken um 4 m/sec, die unterhalb des Schwellenwertes der Sandmobilisierung liegen würden. Nun ist im Bereich des Hotelkomplexes durch die Bebauung und den umgebenden Palmenbestand („Oasis de Maspalomas“) jedoch die Oberflächenrauigkeit stark erhöht und die Windgeschwindigkeit entsprechend herabgesetzt. Messungen im freien Dünenfeld ergeben denn auch deutlich höhere Windgeschwindigkeiten.

Die morphodynamische Wirksamkeit der Seewinde aus westlichen und südlichen Richtungen findet ihren zeitweiligen Niederschlag in den Dünenformen. Während bei der dominierenden abgelenkten Passatströmung aus Ostnordost die sanfter ansteigenden Luvseiten der Dünen gegen Osten und die steilen Lee-Rutschböschungen gegen Westen gerichtet sind, kommt es während der Wirksamkeit von Sandwinden westlicher Herkunft zu einer Asymmetrienumkehr der höchsten Dünenaufragungen. Dann bilden sich auf den Dünenrücken und -kuppen kleine sichelförmige „Aufsitzerdünen“ mit einer steilen Rutschböschung gegen Osten oder Nordosten. Je nach den jeweils wirksamen Winden, deren Richtung gerade im Sommer häufigen Änderungen unterworfen ist, wird der Kambereich der großen Dünen also Formänderungen mit Asymmetriewechsel ausgesetzt. Das Dünenfeld von Maspalomas/Playa del Inglés steht unter dem Einfluß wechselnder, großenteils gegenläufiger Luftströmungen mit morphodynamisch dominierendem abgelenkten Passat aus Ostnordost sowie nachgeordnet tageszeitlichen Seewinden aus Westsüdwest mit Sommermaximum (abgesehen von den winterlichen zyklonalen Westlagen). Dieses komplexe, stark reliefgesteuerte Windregime im Süden Gran Canarias begünstigt wohl auch die Vernetzung der barchanoiden Querdünen zu komplexen Wabenmustern nach Art der nordafrikanischen „Aklé-Dünen“. Nach BESLER (1987 u. 1992) ist die Genese der Aklé-Formen an ein reichhaltiges Sandangebot sowie an alternierende, annähernd gegenläufige Winde gebunden. Diese Voraussetzungen sind im Süden von Gran Canaria gegeben. Andere Erklärungen der Aklé-Genese (z. B. COOKE a. WARREN 1973; NICKLING 1994) erscheinen hier weniger gut anwendbar.

So läßt sich festhalten, daß mit der pflanzengebundenen Windfeldkartierung zwar die dominierende und für die Generalrichtung des Sand- und Dünentransportes maßgebliche Strömung aus Ostnordost übersichtlich zu erfassen und darzustellen ist, nicht aber die ganze Komplexität des Windregimes. Dazu bedarf es zusätzlicher und systematischer geomorphologischer

Beobachtungen vor Ort, möglichst begleitet von regelmäßigen lokalen Windmessungen. Kurzfristige einmalige Studien sind dafür meist nicht hinreichend. Die Winddaten der meteorologischen Station Flughafen Gando mit ausgeprägt unimodalem Passatregime (Abb. 5) können zum Verständnis des komplexen Windfeldes im Süden Gran Canarias und seiner geomorphologischen Auswirkungen nur wenig beitragen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Für zwei Sand- und Dünengebiete der Kanarischen Inseln wird das Verfahren getestet, mit Hilfe der Richtungsmessung und Kartierung windbedingter Pflanzendeformationen das dominierende Windfeld flächenhaft zu erfassen, das letztlich für die Hauptrichtung der Sandverdriftung und Dünenwanderung verantwortlich ist. Die Ergebnisse werden mit den Winddaten der nächstgelegenen meteorologischen Stationen sowie mit den morphometrischen und morphodynamischen Geländebefunden verglichen.

Im ersten Fallbeispiel (Sand- und Dünengebiet von Corralejo-Oliva Beach in Nordost-Fuerteventura) stehen die pflanzengestützte Windfeldkartierung, die Winddaten der 25–30 km entfernten Station am Flughafen Fuerteventura sowie die morphologischen Geländebefunde in weitgehendem Einklang. Die Passatströmung aus NNE tritt hier praktisch ungehindert vom Meer auf das Land mit seinen Sand- und Dünenablagerungen über und behält die Vorzugsrichtung aus NNE mit nur geringfügigem landwärtigen Einbiegen bei (Abb. 4). Das Richtungsmittel der Windfeldkartierung von 11° für das Dünengebiet insgesamt stimmt mit dem resultierenden Driftpotential der Flughafen-Station Fuerteventura (8° NNE) sowie mit den längerfristigen Einmessungen der Symmetrieachsen von Dünen im Zentralteil des Feldes (10° NNE) ziemlich gut überein. Im passatdominierten unimodalen Windregime mit größter Beständigkeit und Stärke im Sommerhalbjahr (Abb. 3) vollziehen sich auch 65–75% der jährlichen Dünenwanderung von 4,5–6 m in dieser Jahreszeit. Während die Dünenmorphometrie oft nur Informationen über eine relativ kurze Wirkungsphase der äolischen Morphodynamik liefert, manifestiert sich in der pflanzenbezogenen Windfeldkartierung ein längerfristiges Mittel der vorherrschenden Windrichtung.

Im zweiten Fallbeispiel (Sand- und Dünengebiet von Maspalomas-Playa del Inglés im Süden von Gran Canaria) stimmen die Winddaten der nächstgelegenen meteorologischen Station am ca. 30 km entfernten Flughafen Gando (Abb. 5) nicht mit den Ergebnissen der Windfeldkartierung im Maspalomas-Dünengebiet

überein. Während in den Stationsdaten von Gando an der Insel-Ostküste ähnlich wie am Flughafen Fuerteventura ein betont unimodales Passatregime mit resultierendem Driftpotential aus 12° NNE zum Ausdruck kommt, zeigt die pflanzengestützte Windfeldkartierung eine durch Relief und Küstenverlauf bedingte Ablenkung der Passatströmung, wobei sich für die Maspalomas-Dünen an der Südküste ein Mittel der dominierenden Luftströmung aus $80,5^\circ$ ENE ergibt. Diese abgelenkte Passatströmung treibt Sand und Dünen von der Playa del Inglés im Osten westwärts zum Barranco de Fataga (Abb. 6), wobei mit Jahreswerten der Dünenverlagerung von 2–5 m zu rechnen ist. Morphometrische Untersuchungen der Dünen-Grundformen, der Lage ihrer Symmetrieachse und der leeseitigen Steilböschungen stehen mit dem Muster der Windfeldkartierung in zufriedenstellendem Einklang, unterliegen allerdings kurzfristigen Abwandlungen in Abhängigkeit von der vorangegangenen äolischen Morphodynamik. Anders als die nicht übertragbaren Winddaten der Station Gando liefern pflanzengestützte Windfeldkartierung und Dünenmorphometrie also eine zutreffende flächenhafte Information über die vorherrschenden morphodynamisch wirksamen Winde und die Richtung der Sandbewegung. Nur aus lokalen Windmessungen und längeren Dünenbeobachtungen wird deutlich, daß das Maspalomas-Sandfeld einem komplexen Windregime ausgesetzt ist. Die abgelenkte Passatströmung aus ENE und (vorrangig sommerliche) Seewinde aus W und S treffen hier aufeinander, wobei die westlichen Seewinde zu einer zeitweiligen Asymmetrieumkehr im Bereich der Dünenkuppen und -kämme führen. Das komplexe Windregime mit z. T. gegenläufigen Luftströmungen begünstigt auch das komplizierte wabenartige Formenmuster nach Art der Aklé-Dünen (Photo 4). So gibt im zweiten Fallbeispiel eines im Passatlee gelegenen Sand- und Dünengebietes die auf windbedingte Pflanzendeformationen gestützte Windfeldkartierung zwar die vorherrschende und für die Sandverlagerung vorrangig wirksame Windrichtung hinreichend wieder, reicht jedoch zur Erfassung des komplexen, durch Reliefeinflüsse und Lokalzirkulation veränderten Windregimes nicht aus. Dafür waren weitergehende Lokaluntersuchungen (Windmessungen, Dünenmorphometrie) zu verschiedenen Jahreszeiten notwendig.

Trotz dieser Einschränkung für den Fall komplexer Windregime dürfte sich das einfache Verfahren der pflanzengestützten Windfeldkartierung bei Geländestudien zur äolischen Morphodynamik und Dünenbewegung als nützlich und hilfreich erweisen, zumal dann, wenn Stationsdaten über das Windregime nicht verfügbar oder nicht übertragbar sind. Da die Einmes-

sung der Deformationsrichtung von Pflanzen mit einem Fehler um $\pm 5^\circ$ behaftet ist, der sich jedoch gewöhnlich durch Mittelbildung noch verringert (BARSCH 1963, 98), während die Unterteilung der Richtungsangaben von Windrosen mit $22,5^\circ$ (16teilig) oder sogar 45° (8teilig) weitaus gröber ist, dürften die Ergebnisse der pflanzengebundenen Windfeldkartierungen in Dünengebieten an Genauigkeit kaum gegenüber stationären Winddaten zurückstehen, haben diesen gegenüber aber den Vorteil der flächenhaften Information und lassen dadurch eventuell vorhandene kleinräumige Unterschiede erkennen.

Gegenüber der Richtungskartierung ist eine graduelle Abschätzung der Windstärken aus dem Maß der Pflanzendeformationen weitaus schwieriger. Im Dünenfeld bei Corralejo sind die Pflanzendeformatio-

nen zwar kräftig ausgeprägt, stehen jedoch gegenüber besonders windexponierten Lagen von Nordwest-Fuerteventura (Gebiet um Cotillo-Punta del Tostón) oder im Jandía-Bergland von Süd-Fuerteventura zurück. Der Grad der Windverformung im Corralejo-Sandfeld ist in etwa vergleichbar mit dem Dünengebiet des Llano de Famara in Nord-Lanzarote, aber ausgeprägter als im Dünenfeld von Maspalomas im Süden von Gran Canaria. Dem entspricht, daß die näher untersuchten Dünen bei Corralejo und im Famara-Gebiet Nord-Lanzarotes auch eine vergleichbare Größenordnung des mittleren jährlichen Sandumsatzes um $40\text{--}55\text{ m}^3$ pro m Dünenquerschnitt aufweisen, während die Dünen von Maspalomas (Gran Canaria) wegen des komplexen Windregimes einen geringeren Sandumsatz erwarten lassen.

Literatur

- BARSCH, D. (1963): Wind, Baumform und Landschaft. Eine Untersuchung des Windeinflusses auf Baumformen und Kulturlandschaft am Beispiel des Mistralgebietes im französischen Rhônetal. In: Freiburger Geogr. Hefte 1, 21–130.
- BESLER, H. (1987): Entstehung und Dynamik von Dünen in warmen Wüsten. In: Geographische Rundschau 39, 422–428.
- (1992): Geomorphologie der ariden Gebiete. Erträge der Forschung 280, Darmstadt.
- COOKE, R. U. a. WARREN, A. (1973): Geomorphology in deserts. London.
- CRÍADO HERNÁNDEZ, C. (1987): Evolución geomorfológica y dinámica actual del Jable de Corralejo (Fuerteventura, Islas Canarias). In: Revista de Geogr. Canaria 2, 29–52.
- FRYBERGER, S. G. (1979): Dune forms and wind regimes. In: MCKEE, E. D. (Hrsg.): A study of global sand seas. Geol. Survey Profess. Paper 1052, Washington, 137–153.
- HÖLLERMANN, P. (1982): Studien zur aktuellen Morphodynamik und Geoökologie der Kanareninseln Teneriffa und Fuerteventura. Abhandl. d. Akad. d. Wissensch. Göttingen, Math.-Phys. Kl. III, Nr. 34.
- (1991 a): Neuere Materialien zum Klima von Fuerteventura, Kanarische Inseln. In: Erdwissensch. Forschung 25, Stuttgart, 133–173.
- (1991 b): Untersuchungen zur äolischen Morphodynamik im Driftsandgürtel von Lanzarote (Kanarische Inseln). In: Erdwissensch. Forschung 25, Stuttgart, 197–276.
- (1996): Mesoskalige Windfeldstudien im nordatlantischen Passatgürtel. In: Beiträge z. Physiogeographie (Festschrift D. BARSCH), Heidelberger Geogr. Arb. 104, 44–58.
- (1997): Vergleichende Untersuchungen an Kalksanddünen der Kanarischen Inseln (Spanien). In: Zeitschr. f. Geomorphologie, Suppl. 111, 51–72.
- HOLTMEIER, F.-K. (1978): Die bodennahen Winde in den Hochlagen der Indian Peaks Section, Colorado Front Range, USA. In: Münstersche Geogr. Arbeiten 3, 3–47.
- (1996): Die Wirkungen des Windes in der subalpinen und alpinen Stufe der Front Range, Colorado, USA. In: Arbeiten aus dem Inst. f. Landschaftsökologie 1, Münster, 19–45.
- KLUG, H. (1968): Morphologische Studien auf den Kanarischen Inseln. Schriften d. Geograp. Institut. d. Univ. Kiel 24, H. 3.
- LANCASTER, N. (1995): Geomorphology of desert dunes. London u. New York.
- LIETZ, J. (1973): Fossile Piedmont-Schwemmfächer auf der Kanaren-Insel Gran Canaria und ihre Beziehung zur Lage des Meeresspiegels. In: Zeitschr. f. Geomorph., Suppl. 18, 105–120.
- MARTÍNEZ MARTÍNEZ, J.; CARPIO, P.; GÓMEZ, M.; HERNÁNDEZ, T. u. MENA, A. (1986): Las dunas de Maspalomas (Gran Canaria): Geología y impacto del entorno. Cabildo Insular Gran Canaria, Las Palmas de G.C.
- MARZOL JAEN, V. (1988): La lluvia, un recurso natural para Canarias. S/C de Tenerife.
- NADAL, I. u. GUTIÁN, C. (1983): El sur de Gran Canaria: entre el turismo y la marginación. Cuadernos Canar. de Ciencias Sociales, Las Palmas de G.C.
- NICKLING, W. G. (1994): Aeolian sediment transport and deposition. In: PYE, K. (Hrsg.): Sediment Transport and Depositional Processes. London u. Boston, 293–341.
- PETTIT-MAIRE, N.; DELIBRIAS, G.; MECO, J.; POMEL, S. u. ROSSO, J.-C. (1986): Paléoclimatologie de Canaries Orientales (Fuerteventura). C. R. Acad. Sci. Paris 303, Sér. II, No. 13, 1241–1246.

- PRIESMEIER, K. (1973): Barchane als Küstendünen bei Maspalomas auf Gran Canaria. In: *Mitteil. d. Geograph. Gesellsch. München* 58, 69–77.
- RADTKE, U. (1985): Untersuchungen zur zeitlichen Stellung mariner Terrassen und Kalkkrusten auf Fuerteventura (Kanarische Inseln, Spanien). In: KLUG, H. (Hrsg.): *Küste und Meeresboden*. Kieler Geograph. Schriften 62, 75–95.
- STENGEL, I. (1992): Zur äolischen Morphodynamik von Dünen und Sandoberflächen. *Würzburger Geograph. Arbeiten* 83.
- TABEAUD, M. (1982): Contribution des images de satellite Météosat à la connaissance de l'influence des îles sur les formations nuageuses: exemple de l'Archipel des Canaries. In: *Norois* 116, 527–533.
- WEISCHET, W. (1955): Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Randlandschaften. *Münchner Geograph. Hefte* 8.
- (1963): Grundvoraussetzungen, Bestimmungsmerkmale und klimatologische Aussagemöglichkeiten von Baumkronendeformationen. In: *Freiburger Geograph. Hefte* 1, 5–19.
- YOSHINO, M. M. (1964): Some local characteristics of the winds as revealed by wind-shaped trees in the Rhône Valley in Switzerland. In: *Erdkunde* 18, 28–39.
- (1966): Wind-shaped trees as indicators of micro- and local climate wind situation. In: *Biometeorology* 2, 997–1005.
- (1973): Wind-shaped trees in the subalpine zone in Japan. In: *Arctic and Alpine Research* 5, No. 3, Pt. 2, A115–A126.