

In no case can erosion be sustained as a cause of valley floor formation.

Although continuing tectonic adjustments are almost certainly occurring over wide areas of the highlands considered here, it is evident that the majority of basin forms result primarily not from either Quaternary tectonism or the development of *Flachmulden* landforms, but from Quaternary volcanism and associated sedimentation.

A c k n o w l e d g e m e n t s

Financial support for fieldwork has been provided by Macquarie University, the Wahgi Project (Professor J. Golson, Australian National University), and the Myer Foundation (RJB) and the Department of Biogeography and Geomorphology, Australian National University (CFP). Professor J. N. Jennings, Australian National University, and Dr. E. Löffler, CSIRO Land Use Research, kindly made comments on a draft of the manuscript.

References

- BAIN, J. H. C., MACKENZIE, D. E. and RYBURN, R. J.: Geology of the Kubor anticline, central highlands, New Guinea. Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Australia, Record 1970/79 (unpublished), 1970.
- BIK, M. J. J.: Structural geomorphology and morphoclimatic zonation in the central highlands, Australian New Guinea, in: Jennings, J. N. and Mabbutt, J. A. (Editors) – Landform studies from Australia and New Guinea, Australian National University Press, p. 26–47, 1967.
- DOW, D. B., SMIT, J. A. J., BAIN, J. H. C. and RYBURN, R. J.: Geology of the South Sepik Region, New Guinea. Bureau of Mineral Resources Bulletin 133, Bull. PNG 4, 88 pages, 1972.
- GOLSON, J.: Archaeology and agricultural history in the New Guinea Highlands (in press).
- GUILCHER, A.: Neo-tectonique Quaternaire dans les montagnes de Nouvelle-Guinea, Ocean Pacifique, Acta Geographica Lodziesia, 24, p. 197–203, 1970.
- HAANTJENS, H. A.: Lands of the Goroka-Mount Hagen area, Territory of Papua and New Guinea, Land research Series No. 27, CSIRO, Australia, 159 pages, 1970.
- JENNINGS, J. N.: Floodplain lakes in the Ka Valley, Australian New Guinea, Geographical Journal 129, p. 187–190, 1963.
- LOUIS, H.: Rumpfflächenproblem, Erosionszyklus und Klimamorphologie. Translated as: The problem of erosion surfaces, cycles of erosion and climatic geomorphology, in: Derbyshire, E. (Editor) – Climatic Geomorphology, Macmillan Geographical Reading Series (1973), p. 153–170, 1957.
- : Über Rampfflächen- und Talbildung in den wechselfeuchten Tropen besonders nach Studien in Tanganykia. Zeitschrift für Geomorphologie 8, p. 43–70, 1964.
- PAIN, C. F.: The late Quaternary geomorphic history of the Kaugel Valley, Papua New Guinea. Unpublished PhD thesis, Australian National University, 225 pages, 1973.
- : The Kaugel Diamicton – a Late Quaternary mudflow deposit in the Kaugel Valley, Papua New Guinea. Zeitschrift für Geomorphologie, 19(4), p. 430–442, 1975.
- and BLONG, R. J.: Late Quaternary tephra around Mount Hagen and Mount Giluwe, Papua New Guinea in JOHNSON, R. W. (editor), Quaternary volcanism in Australasia, Elsevier (in press).
- WALKER, D.: The changing vegetation of the montane tropics, Search, 1(5), 217–222, 1970.
- WILLIAMS, P. W., McDUGALL, I. and POWELL, J. M.: Aspects of the Quaternary geology of the Tari-Koroba Area, Papua, Journal, Geological Society, Australia, 18(4), p. 333–47, 1972.

BERICHTE UND KLEINE MITTEILUNGEN

ÜBER DIE AUSWIRKUNGEN DES PROJEKTIERTEN HAMBURGER VORHAFENBAUS IM WATT SÜDLICH DES ELBEASTUARS

Ein Beitrag zur Angewandten Küstenmorphologie

Mit 2 Abbildungen

HEINZ KLUG

Summary: Geomorphological effects of the projected construction of an outer port in the tidal flats of Cuxhaven.

The projected construction of an outer port of Hamburg and its connection by a dam with the mainland would lead to far-reaching hydrological-morphological changes in

the tidal flats off Cuxhaven. An attempt has been made to record and assess these by relating the connections indicated by the present dynamics and development to the changed marginal conditions after the construction of the planned building-work, as identified by model-based investigations.

Unter dem Trend progressiv wachsender Schiffsgrößen und sich abzeichnender Strukturveränderungen im Seeverkehr plant Hamburg seit 1961 den Bau eines Vorhafens mit Tiefwasseranschluß in der Elbmündung. Als dafür geeignetes und vorgesehene Gebiet wurde 1962 eine rund 95 km² große Wattfläche vor Cuxhaven (Abb. 1 und 2) mit den Inseln Neuwerk und Scharhörn erworben.

Das Vorhafenprojekt sieht in der 1. Ausbaustufe (Abb. 2) im Raum Neuwerk/Scharhörn die Errichtung eines Hafenbeckens und Arealvergrößerungen bzw. -erhöhungen sowohl für Hafenanlagen als auch Industrieansiedlungen vor. Als Verkehrsverbindung ist ein rund 17 km langer Damm bis zur Küste südlich von Sahlenburg projektiert. Die Insel Neuwerk soll durch einen Verkehrsdamm an den Hauptdamm angeschlossen und außerdem durch einen Polderdeich mit dem Industriegelände verbunden werden.

1. Die geomorphologische Problemstellung

Als Teil des Wattenmeeres bildet das vorgesehene Baugelände entsprechend der ihm eigenen Morphodynamik ein Geosystem, das als Ganzes und in seinen Subsystemen mit seiner Umgebung in einem höchst komplizierten Austausch von Energie und Materie steht. Es ist gegen Inputs jeder Art äußerst empfindlich. Der geplante anthropogene Eingriff führt durch die Veränderung der systemeigenen Randbedingungen zu einer Störung des existenten „dynamischen Gleichgewichts“ der einwirkenden physischen Kräfte. Um die Auswirkungen dieser Beeinflussung beurteilen zu können, müssen

- (1) die Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten der rezenten Hydro- und Morphodynamik im Untersuchungsgebiet erkannt,
- (2) die Tendenzen der morphologischen Entwicklung ermittelt und
- (3) die durch Simulation in Modellen gewonnenen hydraulischen Größen, die für die veränderten Randbedingungen nach Errichtung der geplanten Bauwerke ermittelt wurden¹⁾, zu den in (1) und (2) erzielten Ergebnissen in Relation gesetzt werden.

¹⁾ Es liegen die Ergebnisse folgender Modelluntersuchungen zugrunde:

- a) Versuche in einem großflächigen hydraulischen Modell mit fester Sohle (Flächenmaßstab 1:500, Höhenmaßstab 1:100), dem morphologischen Zustand von 1966 geometrisch ähnlich. Es wurde der Einfluß des geplanten Hafensprojektes auf die Hydrologie und Morphologie des Neuwerker Watts sowie der Außenelbe und der Till bei mittleren Tiden und bei Sturmfluten ermittelt. (Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Technischen Universität Hannover, Prof. Dr.-Ing. Dr. phys. PARTENSKY).
- b) Untersuchungen in einem hydrodynamisch-numerischen Rechenmodell. Es wurde die Wirkung der projektierten Bauten auf Wasserstände und Stromgeschwindigkeiten für eine mittlere Gezeit ohne Wind, für Nordwestwind und Südwestwind von je 20 m/sec und für die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 ermittelt (Prof. Dr. WALTER HANSEN, Hamburg).

Hier wird nur auf die unter (3) genannten Arbeiten eingegangen. Dazu ist grundlegend festzustellen: Die geplanten baulichen Eingriffe in das Watt führen a) zu einer Veränderung der Flutraumgrößen, da der Hauptdamm nicht über die Watthöhenscheide, sondern entlang des Wattrandes geführt wird und b) zu einer Vertikalverschiebung der tide- und windbedingten Wasserstände. Dadurch lösen sie eine Kausalkette hydrologisch-morphologischer Folgewirkungen aus. Tiefgreifende Wandlungen sind vor allem durch die sich ändernden Tidewasserstände und -strömungen, die windbedingten Trift- und Brandungsströmungen sowie die Sturmflutverhältnisse und Windstau einflüsse zu erwarten.

2. Tidewirkungen bei geänderten Flutraumgrößen

Durch die künstliche Verlagerung und nicht mehr korrigierbare Festlegung der heute noch frei pendelnden Wattwasserscheide in der Trasse des geplanten Verbindungsdammes wird das Wateinzugsgebiet der Till um etwa 20% verkleinert. Es kommt dadurch zu einer Schrumpfung des Tidevolumens um rund 40 Mio. m³ (PARTENSKY 1974, S. 452), was zur Verlandung im Vorfeld des Dammes führen wird. Die geplante Anlage eines Polders im SW der Insel Neuwerk reduziert die entsprechende Vergrößerung des elbseitigen Wateinzugsgebiets zwar um etwa 23 Mio. m³, stellt aber die hydrodynamischen Randbedingungen nicht wieder her, denn die Prielsysteme der Eitzenbalje und des Buchtlochs haben während eines Tidezyklus zusätzlich 17 Mio. m³ Wasser zu bewältigen. Auch wenn die Veränderungen der Scheitelwasserstände nach dem Einbau der Hafenanlagen und Dämme, bezogen auf die mittleren Tideverhältnisse, nach den Modellmessungen und -rechnungen (PARTENSKY 1970/74, HANSEN 1973) gering erscheinen, muß auf jeden Fall mit morphologischen Folgewirkungen gerechnet werden. Verhältnismäßig schnell wird der Abbau der gegenwärtigen Watthöhenscheide einsetzen. Dies führt zu beträchtlichen Materialumlagerungen bei insgesamt negativer Bilanz. In den elbseitigen Prielen wird es bei zunächst gegenüber dem heutigen Zustand unveränderten Rinnensohlen zu – auch im Modell nachgewiesenen – größeren Strömungsintensitäten kommen. Entsprechend dem erhöhten Arbeitsaufwand werden sich die Gerinne dieser Systeme nach den energetischen Gesetzmäßigkeiten umbilden. Als Folge wird insbesondere im Einzugsbereich des Buchtlochs eine regressive Verlängerung und Vertiefung der Priele, d. h. verstärkte Erosion im Küstenwatt einsetzen. Berücksichtigt man, daß dieses im Einzugsgebiet des Buchtlochs seit dem Bau des Kugelbake-Leitdamms ein erhöht erosionsgefährdetes Gebiet ist (KLUG 1974, S. 103), dann müssen die neuerlichen baulichen Eingriffe zu einer Verstärkung der Erosionstendenz in dem ohnehin morphodynamisch instabilen Küstenvorfeld führen.

Zusätzlich muß einer weiteren Folgewirkung Bedeutung beigemessen werden. Nach übereinstimmenden Ergebnissen in der Natur (GÖHREN 1969) und im Modell (PARTENSKY 1970/74) durchgeführter Strömungsmessungen fließen heute in jeder Tide beim Fül-

lungs- und Entleerungsvorgang rund 20 Mio. m³ Wasser von der Elbe über den Wattrücken zur Till. Dieser Wasseraustausch wird durch den Dammbau unterbunden.

Die Wattüberströmung ist morphologisch von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Dies wird – auch bei begründeter Einschränkung der Aussagekraft wegen z. T. differenter hydrologisch-sedimentologischer Voraussetzungen – aus einem Vergleich mit dem nordfriesischen Wattenmeer besonders deutlich. WOHLBERG (1953, S. 54, S. 56) konnte nachweisen, daß die vor dem Bau des Hindenburgdamms noch bei jeder Tide zwischen Sylt und dem Festland in S-N-Richtung hindurchsetzende Strömung in einer Größenordnung von 38 Mio. m³ Wasser das Watt in einem „ruhlosen Zustand“ hielt, der den sandigen Aufbau der Sedimente verursachte und wenig Schlick zur Ablagerung kommen ließ. Der durch den Dammbau bewirkte Wechsel von einem einseitig gerichteten Überströmen zu einem Überstauen führte zu einem tiefen Einschnitt im Haushalt der Sedimente. Schlagartig entstanden ganz neue Akkumulationsbedingungen mit einem unerwartet großen Zuwachs an Schlick (WOHLBERG 1953, S. 72).

Auch wenn die Verhältnisse des nordfriesischen Küstenraums nicht ohne weiteres auf die Wattgebiete vor Cuxhaven übertragen werden können, so stimmen doch die Schwebstoffkonzentrationen – wie ein Vergleich der von GÖHREN (1971, S. 19) und WOHLBERG (1953, S. 44f.) ermittelten Meßergebnisse für beide Wattgebiete zeigt – auffallend gut überein. Da auch unbestreitbar hydrodynamische Parallelen gegeben sind, ist konsequenterweise nicht auszuschließen, daß sich auch Konvergenzen in der regionalmorphologischen Entwicklung herausbilden werden.

3. Trift- und Brandungsströmungen – Veränderungen und Auswirkungen

Morphodynamisch von großer Bedeutung sind auch die durch tangentialen Windschub an der Wasseroberfläche entstehenden, unter Umständen sogar quer zu den Prielen setzenden und im Modell nicht nachbildbaren Triftströmungen, da sie die Erosions- und Sedimentationsvorgänge steuern beeinflussen. GÖHREN (1968) stellte bei Triftstromuntersuchungen im Seegebiet vor Cuxhaven fest, daß infolge der vorherrschenden W- und SW-Winde das Watt vorwiegend von der Till zur Elbe überströmt wird (vgl. Abb. 1).

Es ist davon auszugehen, daß diese Triftströmung mit dem Einbau der Projektbauten im Bereich des Hafenschlußdamms zum Erliegen kommt. Nach GÖHREN (1973, S. 15) wird das Überströmen des Watts teilweise durch ein Umströmen des Damm-Hafen-Baukomplexes ersetzt, wobei dieser Vorgang durch Windstau und -sunk auf den beiden Seiten des Damms verursacht wird. Damit verbunden ist ein Transport des sich in Bauwerksnähe ablagernden Lockermaterials entlang der Außenböschungen (Abb. 2). Wo diese konvex zur vorherrschenden westlichen Windrichtung liegen, kommt es zu einer Divergenz der Strömung und damit zur Erosion. Dagegen wird im konkaven Trassenabschnitt und im Winkel zwischen Damm und Küste

(bei Arensch) Akkumulation einsetzen. Wegen der Unterbrechung der heute noch frei entwickelten Triftströmung durch den Damm und der Verminderung des Seegangs in dem von der jeweiligen Windrichtung abhängigen Leegebiet des Bauwerks ist damit zu rechnen, daß in Dammnähe unter Stillwasserbedingungen Schlickfall einsetzen wird.

Aus analogen Gründen muß in Betracht gezogen werden, daß die im Sahlenburger Küstenprofil nachgewiesene, frühjährliche Zunahme der Verschlickung ihren temporären Charakter verlieren wird. Zwar schließen LAUCHT (1973, S. 16), GÖHREN (1973, S. 18) sowie PARTENSKY und RENGER (1974, S. 454) die Gefahren einer Verschlickung des strandnahen Watts aus, weil der Schluffanteil in den Oberflächensedimenten des Neuwerker Watts vergleichsweise gering ist und der Schwebstoffgehalt des Wassers nur bei stürmischem Wetter, das zu einer Aufrührung des Wattbodens führt, erheblich ansteigt. Für die zu erwartende Entwicklung muß aber bedacht werden, daß am geologischen Aufbau des küstennahen Watts und des Wattrückens Schluff- und Tonschichten beteiligt sind (LAUCHT 1970, S. 37, GÖHREN 1975, S. 44), die durch die regressive Prielerosion angeschnitten werden dürften. Durch diesen Vorgang wird sich zweifellos der Schluffgehalt des Wattwassers erhöhen. Unter den durch den Dammbau gegebenen Staubedingungen können sich die im Wasser angereicherten Sinkstoffe in den entstehenden Stillwassergebieten absetzen. Der jahreszeitlich verstärkt eintretende Schlickfall könnte zukünftig nicht mehr durch einen adäquaten Abtrag kompensiert werden. Davon wird in erster Linie der Zwickel zwischen dem Hafenschlußdamm und der Küste bei Sahlenburg betroffen sein. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß auch in den angrenzenden Strand- und Vorstrandgebieten Schlickfall einsetzen wird.

In diesem Zusammenhang ist ein Teilergebnis der im *Franzius-Institut* durchgeführten Modelluntersuchungen von Bedeutung. Strömungsmessungen haben ergeben, daß nach Einbau der Dämme das Wasser im Tidezyklus aus dem Zwickel vor Sahlenburg „bei Ebbe durch das Buchtloch und das Neuwerker Fahrwasser bis etwa in Höhe von Neuwerk gelangt und von dort aus bei Flut auf demselben Weg wieder in den Zwickel einströmt“ (PARTENSKY u. RENGER 1974, S. 454). Durch dieses gezeitenbedingte, den Wasseraustausch in Grenzen haltende Hin- und Herpendeln des gleichen Wasserkörpers wird zwar „eine Zufuhr von Feinstbestandteilen aus benachbarten Gewässerbereichen erschwert“ (ebda. S. 454), andererseits aber auch der Abtransport des durch die verstärkte Prielerosion im Küstenwatt aufbereiteten Schluffs weitgehend verhindert, so daß auch aus diesem Grunde mit einer Zunahme des Schlickfalls zu rechnen ist.

Außer den bisher behandelten Strömungen spielt im Flachwasserbereich vor den Cuxhavener Seebädern Sahlenburg, Duhnen und Döse eine bei westlichen Winden einsetzende Brandungslängsströmung eine Rolle. Als Transportsystem kommt ihr vor allem bei Starkwinden eine Bedeutung für küstenparallele Sandvertriftung zu. Dies wird allein schon durch die Tatsache der Unterbilanz in den Strandgebieten von Duhnen und Döse bewiesen. Seit etwa 1950

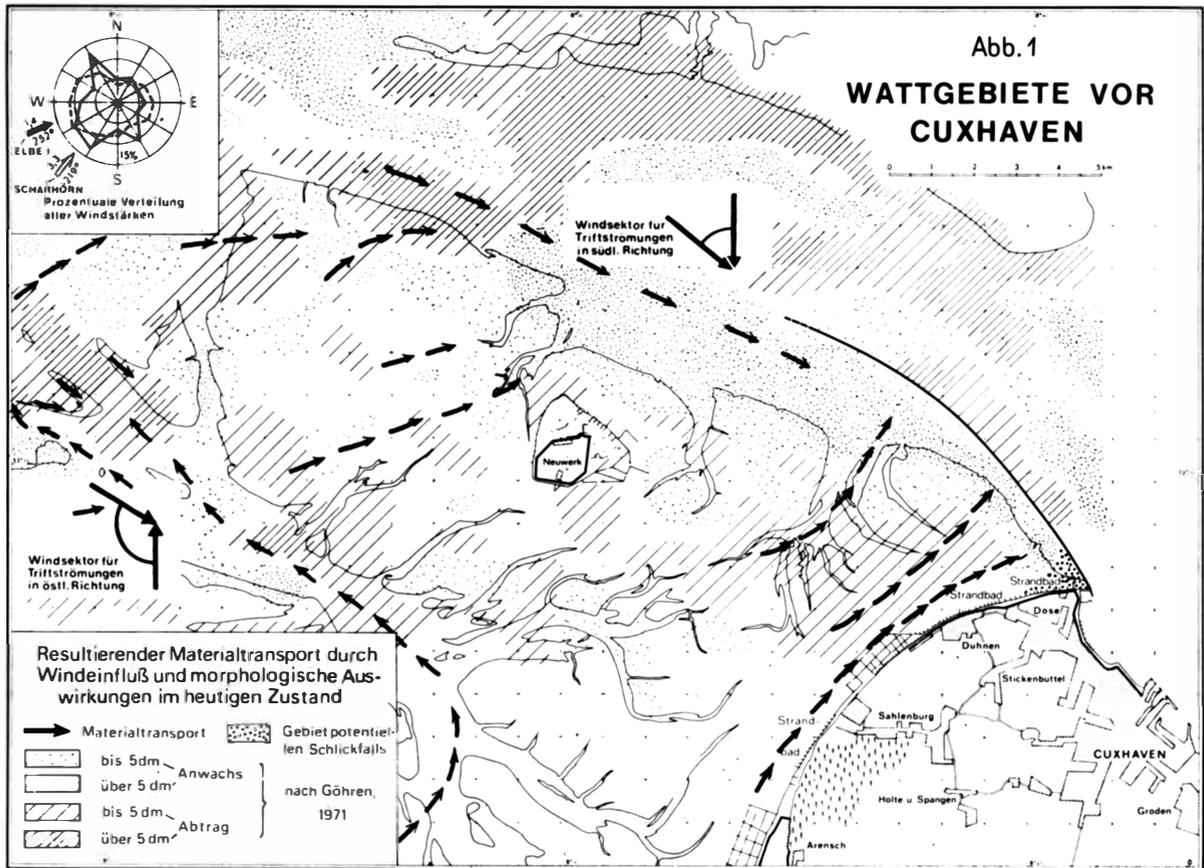


Abb. 1 und 2: Vergleich der Wattgebiete zwischen dem heutigen Zustand und den morphologischen Entwicklungstendenzen der ersten Ausbaustufe

muß dort der Materialverlust durch künstliche Sandzufuhr ausgeglichen werden (LUCK 1970, S. 42).

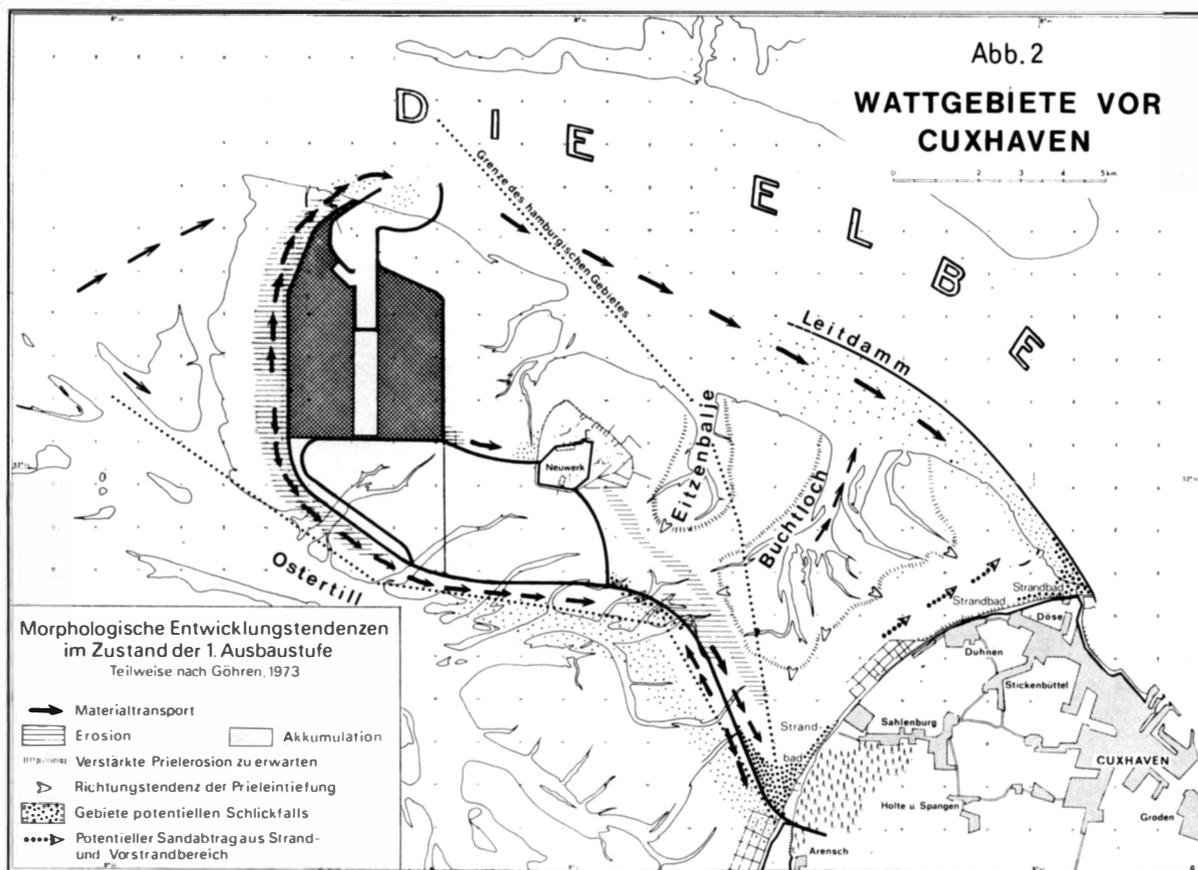
Die Unterbilanz hängt ursächlich mit der Anlage der Lahnungen von Dühnen zusammen, da diese die dahinterliegenden Dünen dem unmittelbaren Wellenangriff entzogen und damit das Transportsystem von seinem Hauptnährgebiet abgeschnitten haben. Wenn auch die Anlage der Lahnungsfelder die natürliche Sandbewegung sehr stark eingeschränkt hat, so bewirkte sie jedoch nicht deren völliges Erliegen, denn der Materialverlust in den Cuxhavener Strandgebieten müßte größer sein, wenn ausschließlich Abtrag erfolgen würde. Auch dieses Transportsystem wird durch den Dammbau unterbrochen.

Andererseits ist damit zu rechnen, daß die Windschubkräfte auch nach dem baulichen Eingriff im Wattstrandgebiet nördlich des Dammes einen nach NE setzenden Küstenparallelstrom erzeugen, der etwa vor Dühnen auch wieder Erosions- bzw. Transportwirksamkeit erlangen dürfte, da bis dahin der Fetch entsprechend zugenommen haben wird. Der damit zu erwartende Sandverlust aus Strand- und Vorstrandbereich kann dann auch nicht mehr partiell durch natürliche Zufuhr kompensiert werden.

4. Bauwerkeinflüsse auf Sturmflutwasserstände und Windstauverhältnisse

Große Bedeutung für die morphologische Gestaltung und Entwicklung des Untersuchungsgebietes kommt den Sturmfluten und dem durch sie ausgelösten Windstau zu. Für die Ermittlung der Bauwerkeinflüsse auf die Sturmflutwasserstände können Modelluntersuchungen nur Teilerkenntnisse liefern. Dies gilt besonders für das hydraulische Modell, da in ihm die örtlich verstärkt stauwirksamen Windschubkräfte an der Wasseroberfläche nicht nachbildbar und außerdem für die zu untersuchenden Extremverhältnisse die empirisch zu ermittelnden Korrekturkurven nicht vorhanden sind.

Dagegen liefert das mathematische Modell, in das die Windschubkräfte eingegeben werden können, besser verwertbare quantitative Ergebnisse. Die entsprechenden Berechnungen (HANSEN 1973) ergaben für Sturmfluten von 8 Bft. aus SW Maximalstaubeträge von +15 cm südlich des Dammes bei tiefsten Sunkquoten von -30 cm nördlich des Dammes. Die Scheitelwasserstände für Fluten aus NW lagen - bei umgekehrter Relation der Stau- und Sunkwerte in Luv und



Lee des Dammes – nur wenige Zentimeter höher bzw. niedriger als die Tidescheitel. Die Wasserstandsänderungen beschränken sich natürlich nicht ausschließlich auf den eigentlichen Dammbereich. Je nach Windrichtung tritt auch an der Festlandsküste ein höherer Wasserstand ein.

Vor allem für Stürme aus NW erscheinen die gemessenen Werte auffallend niedrig. Abgesehen von der Einschränkung, daß nicht alle wichtigen Komponenten Eingang auch in die Modellrechnung finden können, lassen sich in der nur für 8 Bft. vorliegenden Untersuchung nicht genug Kombinationen hydrologischer und meteorologischer Faktoren simulieren, um erreichbar höchste Sturmflutwasserstände voraussagen zu können. Zu diesem Aspekt gehört insbesondere die Überlegung, welche Auswirkungen ein beim Durchzug einer Orkanzyklone auftretender Windrichtungswechsel von SW auf NW auf die Sturmflutwasserstände hat.

Die den Sturmfluten meist vorausgehenden, anhaltenden Starkwinde aus westlicher Richtung stauen Wassermassen vor der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Bei Umschwung des Windes auf NW bis N werden diese vorwiegend in den Elbetrichter und in das Wattgebiet vor Cuxhaven gedrückt. Dies aber sind grundlegend andere Verhältnisse, als sie in der Modellsimulation für Sturmflut aus NW angenommen werden, denn unter deren Prämisse verteilen sich die Wassermassen im gesamten Elbe-Weser-Winkel viel weitflächiger.

Obwohl Sturmfluten auch zu Niedrigwasserzeiten auftreten können, ist doch generell eine besondere Gefährdung der Küste nur dann gegeben, wenn das Wirkmaximum des Sturmes bzw. der größte Windstau mit dem Hochwasser oder gar dem Springtidehochwasser zusammenfällt. Bei Beachtung dieser Voraussetzung ist es von besonderer Bedeutung, daß die Triftstromkehr im Untersuchungsgebiet, die nach genauerer Analyse der Meßdaten bei Windrichtungen zwischen 300° und 310° (PARTENSKY 1973, III, S. 23) eintritt, nahezu momentan einsetzt und annähernd in den Bereich der für den Cuxhavener Küstenabschnitt stauwirksamsten Windrichtung fällt²⁾.

Dabei muß außerdem berücksichtigt werden, daß die an der Küste zwischen Sahlenburg und Kugelbake stauwirksamsten Windschubkräfte noch verstärkt werden infolge der unterbundenen Querströmungen, deren stauausgleichende Wirkung durch die Einbauten verhindert wird. Die Größe der durch die Abdämmung erzeugten kinetischen Energie spielt als zusätzliche reflektierende Strömungsenergie für die Erhöhung des Staugradienten eine wichtige Rolle.

²⁾ Windrose und kritische Windrichtungen, speziell die Windsektoren für Triftströmungen in östlicher und südlicher Richtung (SIEFERT 1972), sind in Abb. 1 eingetragen.

Literatur

- Franzius-Institut* für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Technischen Universität Hannover (Prof. Dr. Ing. Dr. phys. PARTENSKY): 6 Teilberichte über die Modellversuche für das Neuwerker Watt. Hannover 1970/74.
- GÖHREN, H. (1968): Triftströmungen im Wattenmeer. – Mitt. Franzius-Inst. Hannover, H. 30.
- (1969): Die Strömungsverhältnisse im Elbmündungsgebiet. – Hamb. Küstenforsch., H. 6.
- (1971): Untersuchungen über die Sandbewegung im Elbmündungsgebiet. – Hamb. Küstenforsch., H. 19.
- (1973): Hydrodynamische und küstenmorphologische Probleme bei der Planung des Tiefwasserhafens Neuwerk/Scharhörn. – Jahrb. Hafenbautechn. Ges. 33: 3–27.
- (1975): Die Sedimente im küstennahen Watt zwischen Elbe und Weser. – Hamb. Küstenforsch., H. 33.
- HANSEN, W. (1973): Der Einfluß des geplanten Tiefwasserhafens Neuwerk/Scharhörn auf Wasserstände und Stromgeschwindigkeiten in der inneren Deutschen Bucht. – Hamb. Küstenforsch., H. 26.
- HENSEN, W. (1939/40): Die Entwicklung der Fahrwasserhältnisse in der Außenelbe. – Jahrb. Hafenbautechn. Ges., Bd. 18, Berlin.
- KLUG, H. (1974): Morphologische Untersuchungen über den Einfluß des Kugelbake-Leitdammes und seiner geplanten Verlängerung auf die Watt- und Strandgebiete vor Cuxhaven. – Schr. Naturw. Ver. Schlesw.-Holst., 44: 97–106.
- LAUCHT, H. (1973): Berücksichtigung von Fragen der Umweltbeeinflussung bei der Planung des Tiefwasserhafens Neuwerk/Scharhörn. – Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Wirtschaft und Verkehr – Strom und Hafenausbau.
- LUCK, G. (1970): Stellungnahme zur Stranderhaltung durch künstliche Sandzufuhr im Raume Döse, Duhnen und Sahlenburg. – Forschungsstelle Norderney, Jahresber. 1968, 20: 35–45.
- PARTENSKY, H.-W. und RENGER, E. (1974): Modelluntersuchungen für den geplanten Tiefwasserhafen Neuwerk/Scharhörn. – Schiff und Hafen 26, 5: 447–455.
- PARTENSKY, H.-W. (1970/74): s. unter: Franzius-Institut.
- SIEFERT, W. (1972): Windmessungen auf Scharhörn 1966 bis 1970. – Hamb. Küstenforsch., H. 24.
- WOHLENBERG, W. (1953): Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. – Die Küste, 2: 33–84.

EVIDENCE OF FORMER GLACIATION IN THE SIERRA DE PERIJA, WESTERN VENEZUELA

With 1 Figure

CARLOS SCHUBERT

Zusammenfassung: Die wichtigsten Zeugen einer früheren Vergletscherung der höchsten Berge der Sierra de Perijá (Cerro Pintado) sind Kare, schroffe Felsgrate, Felsstufen und rundhöckerähnliche Strukturen. Diese sind in einer Höhe von über 2700 m zu finden. Darunter finden sich einige kleine, niedrige Moränen und Solifluktuionsflächen. Die spätglaziale Schneegrenze lag in einer Höhe von ungefähr 3000 m.

The Sierra de Perijá is a remote mountain range located between 9° 0' and 11° 10' N latitude, 72° 10' and 72° 30' W longitude. Its divide is the border between Venezuela and Colombia. The southern half of the Sierra is named Serranía de los Motilones and reaches a height of 3750 m (Pico Tetarí) above sea level; the northern half is called Serranía de Valledupar, with elevations of up to 3600 m (Cerro Pintado) (SIEVERS 1888; *Sociedad de Ciencias Naturales La Salle* 1953; HITCHCOCK 1954; VILA 1960). These elevations are all below the present-day lower glacier limit in northern South America, which is at approximately 4700 m (SCHUBERT 1972). The geology of the Sierra de Perijá is still poorly known; the published reports are concerned mainly with the eastern foothills and the western Lake Maracaibo Basin (SUTTON 1946; HEA & WHITMAN 1960; MILLER 1960; BOWEN 1972). Recently, regional mapping was begun by the *Ministe-*

rio de Minas e Hidrocarburos of Venezuela (ESPEJO 1973). However, the higher parts of the Sierra are of difficult access and most of the information on those regions must be derived from the study of aerial photographs.

The author is not aware of any previous report of glacial features in the Sierra de Perijá. The only indirect references to a high altitude tropical alpine (*páramo*) zone in the Sierra are those by SIEVERS (1888) and HITCHCOCK (1954). Although he did not reach it, SIEVERS refers to a *páramo* type vegetation on Cerro Pintado, from which he inferred a minimum elevation of 2800 m to 3000 m. The recently prepared topographic bases (Maps No. 5647–III–NE, –NO, –SE, and –SO) of *Cartografía Nacional* (Caracas) show elevations of up to 3600 m in the Cerro Pintado area (10° 30' N, 72° 50' W). The contemporary tree line is at approximately 2800 m elevation; above this is the *páramo* zone with a tropical high mountain climate. In the higher parts there is frequent nightly freezing and daily thawing, with the consequent solifluction and periglacial morphology. No climatic data have been systematically recorded in the Sierra de Perijá. Along the foothills, annual rainfall varies from 613 mm near the northern end of the Sierra, to 1452 mm in the central foothills, to 4523 mm near the southern end (WALTER & MEDINA 1971).