

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Erchinger, Heide F.

Strandaufspülungen als aktiver Küstenschutz vor Schutzwerken und Dünen auf Norderney und Langeoog

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101240>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Erchinger, Heide F. (1986): Strandaufspülungen als aktiver Küstenschutz vor Schutzwerken und Dünen auf Norderney und Langeoog. In: Die Küste 43. Heide, Holstein: Boyens. S. 181-204.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Strandaufspülungen als aktiver Küstenschutz vor Schutzwerken und Dünen auf Norderney und Langeoog

VON HEIE FOCKEN ERCHINGER

Zusammenfassung

Seit nahezu 130 Jahren verhindert der Mensch durch Schutzwerkbauten an den Westenden einiger Ostfriesischer Inseln den weiteren Dünenabbruch. Am Norderneyer Westkopf mußte dieses Schutzwerk 1951/52 durch die erste Strandaufspülung in Deutschland vor Unterspülung und Zerstörung geschützt werden. Danach wurden dort noch vier weitere Aufspülungen notwendig. Sie konnten auf den Westbereich begrenzt werden, da die strandparallele Sandverfrachtung für den Weitertransport genutzt und so 6 km gefährdete Strandstrecke durch Vorschieben der Brandungszone aktiv geschützt werden konnten. Die Transportgeschwindigkeit nach einer Westkopfaufspülung konnte ermittelt und die Abnahme der Aufspülintervalle als Folge der Sturmfluthäufung deutlich gemacht werden.

Auf der schutzwerklosen Insel Langeoog werden die Strände in der Regel durch die natürliche Platananlandung ausreichend mit Sand versorgt. Dabei treten immer wieder Phasen mit Sandmangel und örtlich begrenzter Strand- und Dünenerosion und bleibender Schutzdünen-schwächung auf. Seit 1971 wurden drei Strandaufspülungen notwendig, die durch Schlauchwerk-stabilisierung oder gezielte Beeinflussung der natürlichen Platananlandung von üblichen Aufspül-maßnahmen abwichen.

Die langjährige Strandvermessung hat es ermöglicht, ein Mindeststrandprofil zur Abschätzung der kritischen Schutzwirkung festzulegen und ein „Vorsorge-Aufspülprofil“ so zu dimensionieren, daß Randdünenabbrüche verhindert werden können.

Summary

Protective structures have been used for over 130 years to prevent dune erosion on the west side of some East-Frisian islands. During 1951/52 the structure on the west end on Norderney had to be protected using dumped sand against underscour and destruction. This procedure has since been repeated four times. The beach fill could be restricted to the western area because the long shore sand transport was sufficient to shift the breaker zone thus protecting a 6 km long endangered beach. The transport velocity following a beach fill could be determined, as well as the reduction in the time period between fills, associated with the frequency of storm surges.

Langeoog Island has no protective structures. Naturally occurring plate deposition is normally sufficient for supplying the beaches with sand. However, phases occur during which a scarcity of sand leads to locally limited beach and dune erosion as well as long term weakening of protective dunes. Artificial beach nourishment has been undertaken three times since 1971. These differ from other fills in their attempt to use stabilizing by sandfilled flexible tubes or alteration of naturally occurring plate deposition.

Long term beach surveys have allowed the estimation of a minimum beach profile deemed necessary for protection as well as the dimensions of a precautionary profile of beach fills necessary to prevent significant dune erosion.

Inhalt

1. Einführung	182
2. Die natürliche Sandversorgung des Norderneyer und Langeooger Strandes	182
3. Strandaufspülungen auf Norderney	184
3.1 Die erste Strandaufspülung in Deutschland 1951/52	184
3.2 Die zweite Strandaufspülung 1967	186
3.3 Weitere Aufspülungen	187
3.4 Materialbilanz im Westkopfbereich	188
3.5 Die Sandverfrachtung am Nordstrand	189
3.6 Übersicht und Wertung	191
4. Strandaufspülungen auf Langeoog	192
4.1 Langeoog, die Insel ohne Strand- und Dünenschutzwerke	192
4.2 Strandaufspülung 1971/72 mit stabilisierendem Schlauchwerk aus Kunststoffgewebe	193
4.3 Strandauffüllung durch Steuerung der Platenanlandung 1982	194
4.4 Aufspülung des Nordweststrandes 1984	197
4.5 Übersicht und Wertung	198
5. Mindeststrandprofil zur Abschätzung des kritischen Schutzwertes und Vorsorge-Aufspülprofil zur Verhinderung von Randdünenabbrüchen auf Langeoog	198
6. Schlußbetrachtung	202
7. Schriftenverzeichnis	203

1. Einführung

Seit nahezu 130 Jahren hat der Mensch in die natürliche Entwicklung der Ostfriesischen Inseln eingegriffen und hat insbesondere versucht, die in ständigem Abbruch befindlichen Westenden einiger Inseln durch Buhnen, Strandmauern und Deckwerke festzulegen. Lediglich auf Juist und Langeoog sind keine Buhnen und Dünendeckwerke zu sehen, während die Westenden von Borkum, Norderney, Baltrum, Spiekeroog und Wangerooge durch Schutzwerke gesichert sind. Die nach dem Bau der Schutzwerke weitergehende Erosion der Strände machte im Westen Norderneys seit 1951 fünf Strandaufspülungen notwendig, um ein Freispülen und Unterspülen der Fußsicherungen und Einfassungen von Deckwerken und Buhnen zu verhindern. Aber auch auf den schutzwerkfreien Inseln kommt es zu Sandmangel mit Strand- und Dünenerosion. So waren auf Langeoog seit 1971 drei Aufspülungen auf verschiedenen Strandstrecken notwendig. Wegen der Besonderheiten bei der Ausführung dieser Aufspülungen dürfte ihr weiteres Verhalten von besonderem Interesse sein.

2. Die natürliche Sandversorgung des Norderneyer und Langeooger Strandes

Durch Tideströmung und Brandung wird der Sand entlang den Stränden der Ostfriesischen Inseln von West nach Ost transportiert. An den Seegaten wird diese Bahn unterbrochen. Der Ebbstrom drängt die Platen weit nach Norden bis schließlich der auseinanderfächernde Strom von den Transportkräften der Brandung überwunden werden kann und die Platen sich im Riffbogen wieder dem Nordstrand der nächsten Insel nähern (Abb. 1).

Bei Norderney liegt dieser Anlandungspunkt der Platen vier bis fünf Kilometer östlich des Westkopfes im Bereich der Weißen Düne. Von dort ostwärts herrscht Sandüberschuß, der einen breiten, hohen, sich aufbauenden Strand zur Folge hat. Westlich dieses Anlandungspunktes fehlt der Sandnachschub. Daher bewirken hier die Kräfte der Strömung und Bran-

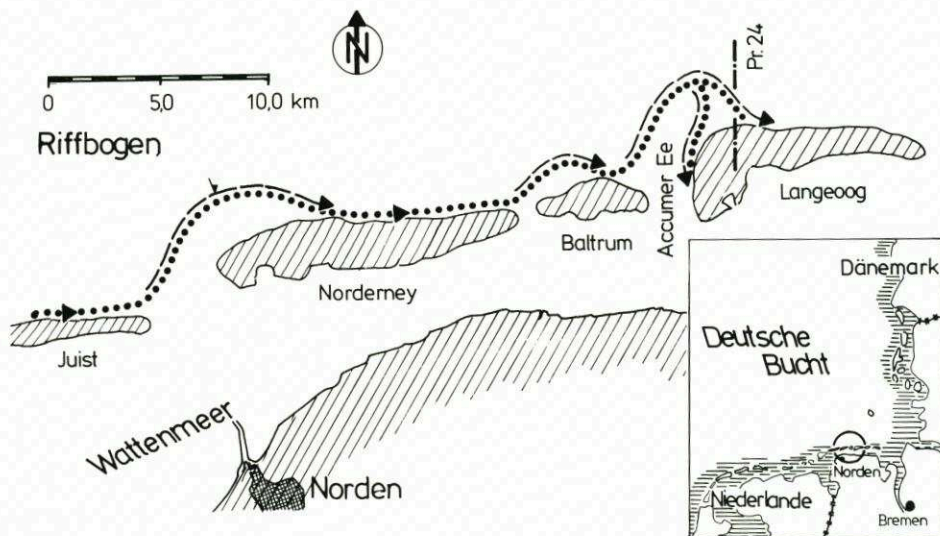


Abb. 1. Küstenparalleler Sandtransport entlang den Nordstränden der Ostfriesischen Inseln

die für Sandmangelgebiete typische anhaltende Strand- und Dünenerosion. Besonders schwerwiegend wirkt sich der Strandabtrag an der 25 m tiefen Rinne des Norderneyer Seegats aus. Kurze, bis in 18 m Tiefe reichende Buhnen sichern hier den schmalen Inselsockel. Der Westteil der Insel kann daher nur mit Hilfe von Schutzmaßnahmen gehalten werden.

Vom Ostende lösen sich die Platen, um die kleine Insel Baltrum nur kurz zu tangieren und dann auf dem weiteren Weg nach Langeoog im Riffbogen der Accumer Ee weit nach

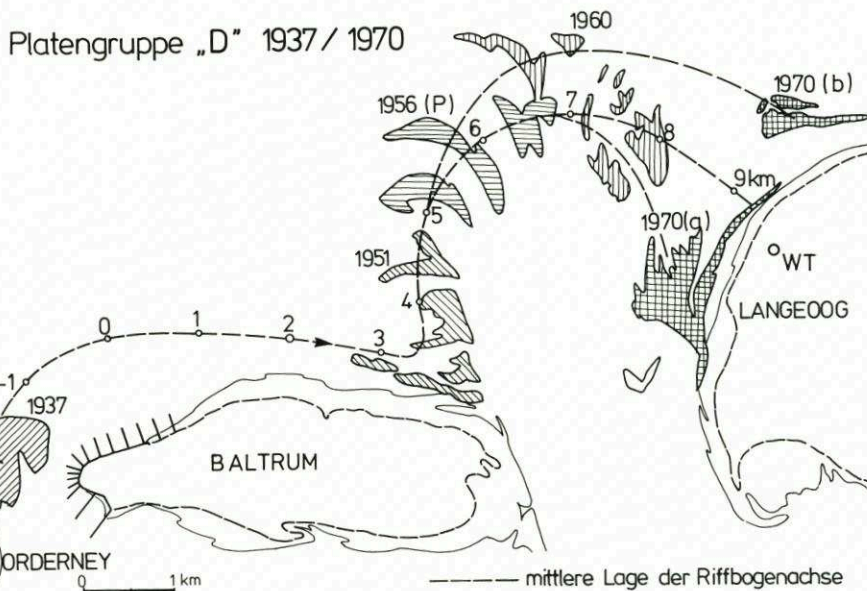


Abb. 2. Verlagerung der Platingruppe „D“ von Norderney bis Langeoog 1937/1970 (nach HOMEIER u. LUCK, 1971) mit einer Verlagerung von i. M. rd. 430 m/Jahr

Norden auszuschnwenken. Die Lage und Stoßrichtung der tiefen Rinne an der Westseite des Seegats hat einen engen Riffbogen zur Folge, so daß die Platen im Nordwesten Langeoogs anlanden und im Regelfall den Nordstrand wie den Nordwest- und Weststrand ausreichend versorgen. Aus diesem Grunde konnte hier bisher auf den Bau von Schutzwerken verzichtet werden (Abb. 2). Aber nicht immer ist die gleichmäßige Verteilung der anlandenden Platen auf den Nord- und den Weststrand gewährleistet. 1970 hat sich beispielsweise die Platingruppe D (HOMeyer und LUCK, 1970) überwiegend nach Süden gewandt, so daß am Nordstrand dem starken Dünenabbruch mit einer Strandaufspülung begegnet werden mußte. Auch in den 80er Jahren mußten die durch Sandmangel bedingten Strand- und Dünenerosionen wiederholt durch Strandaufspülungen ausgeglichen werden.

3. Strandaufspülungen auf Norderney

3.1 Die erste Strandaufspülung in Deutschland 1951/52

Nach dem Untergang der bis zu Beginn des 18. Jahrhunderts zwischen Norderney und Juist gelegenen Insel Buise hatte sich das Norderneyer Seegat in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts so weit an den Westen Norderneys herangeschoben, daß 1857/58 mit dem Bau von massiven Schutzwerken begonnen wurde, um den Ort und die Kuranlagen des bekannten Staatsbades zu sichern. Innerhalb von rd. 100 Jahren wurde dieses Schutzsystem auf rd. 6 km Länge als Strandmauer oder Deckwerk mit 32 Bühnen ausgebaut (Abb. 3). Hiermit konnte dem weiteren Abbruch des Westendes Einhalt geboten werden. Die Erosion des Strandes war damit jedoch nicht beendet.

Nach dem 2. Weltkrieg war der Zustand der Schutzwerke und der angrenzenden Schutzdünen äußerst besorgniserregend. Die ständig weitergehende Strandabnahme führte dazu, daß Deckwerksfußsicherungen und Bühneneinfassungen freigespült und unterspült wurden. Die 1949 eingefallene Ufermauer am Nordstrand wurde durch ein Schrägdeckwerk ersetzt, das erstmals die Neigung 1:4 erhielt. Bis zur Kugelbake am Nordstrand wurde das Schutzwerk bis 1953 auf eine Gesamtlänge von rd. 6 km ausgeweitet. Seit Jahrzehnten gab es Überlegungen, durch gewaltige Strombauwerke, wie den Damm-K4, die Verhältnisse am Westkopf zu verbessern. Außerdem wurde die weitere Verfelsung des Ufers bis 2,5 m unter SKN in Erwägung gezogen.

Mit diesen schwerwiegenden Problemen beschäftigte sich die Arbeitsgruppe Norderney des Küstenausschusses Nord- und Ostsee – Vorgänger des Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurwesen. Dieser Arbeitsgruppe gehörten als anerkannte Fachleute des Küsteningenieurwesens die Herren GAYE, Prof. Dr.-Ing. HENSEN, LORENZEN, Dr.-Ing. LÜDERS, PLATE, ROLLMANN, SCHUMACHER und Dr.-Ing. WALTHER an. Sie stellten in ihrer gutachterlichen Stellungnahme vom 24. 8. 1950 das richtungsweisende Ergebnis fest: „*Ein über Tidehochwasser hinaufreichender Sandstrand bildet die beste Sicherung der Uferschutzwerke. Es ist daher in erster Linie anzustreben, einen solchen Strand wiederherzustellen und zu erhalten.*“

Damit wurde erstmals in Deutschland eine Abkehr vom seebautechnischen konstruktiven Wasserbau für den ausschließlich passiven Schutz der Inseln praktiziert und die Wende zum aktiven Schutz durch Schaffung und Erhaltung eines ausreichend hohen und breiten Strandes durch Aufspülung vollzogen. Nach LÜDERS u. LUCK (1976) bezweckt der „aktive Strandschutz“ die Verbreiterung und Erhöhung einer im Abbruch liegenden Strandstrecke, um Brandung und Strömung von Dünen und Inselschutzwerken fernzuhalten.

Der Mut und die Weitsicht dieser Fachleute zwei Jahre nach der Währungsreform

verdient hohen Respekt. In den USA war eine Strandaufspülung zwar schon zehn Jahre früher praktiziert worden, aber für das traditionsbelastete, wirtschaftlich sehr geschwächte Deutschland verdient dieser Entschluß besondere Anerkennung. Nach 35 Jahren ist ein Rückblick auf die Entwicklung und Wirkung dieser und der ihr bisher gefolgt vier weiteren Aufspülungen im Westen der Insel Norderney angebracht.

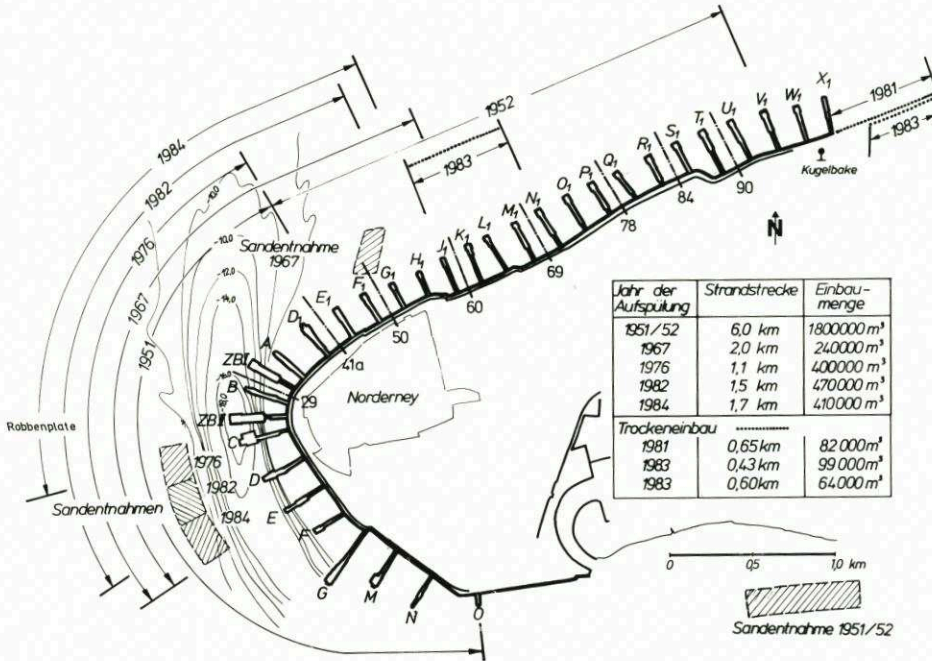


Abb. 3. Westende der Insel Norderney mit Deckwerken und Bühnen sowie Kennzeichnung der Aufspülstrecken und Sandentnahmen der Strandaufspülungen 1951 bis 1984

Die Arbeitsgruppe des Küstenausschusses hat 1950 empfohlen, 1,25 Mio m³ Sand auf rd. 6 km Strandstrecke aufzuspülen. Sie hat weiter ermittelt, daß jährlich etwa 90 000 m³ Sand ergänzt werden müßten, die zweckmäßig in 5- bis 10jährigem Abstand als größere Ergänzungsspülung aufgebracht werden sollten. Als erste Strandaufspülung wurde bereits 1951 und 1952 auf insgesamt 6 km Länge von Bühne 0 bis Bühne V₁ 1,25 Mio m³ Sand eingebaut (Abb. 3). Mit zwei Eimerkettenbaggern wurde der Sand aus dem südlichen Inselwatt gewonnen und mit einem, später mit zwei Spülern aus den Schuten zum Strand gespült. Einschließlich der Spülverluste wurden rd. 1,8 Mio m³ im Schutenaufmaß erfaßt. Am Deckwerk wurde der Sand – abweichend vom Sollprofil – auf 1,5 bis 2,0 m über MThw mit 50 bis 100 m breitem trockenen Strand aufgespült (Abb. 4) (KRAMER, 1959). Zwischen MThw und MTnw stellte sich eine Strandneigung von etwa 1:40 bei dem in seiner Körnung gegenüber dem üblichen Strandsand feineren Material ein (KRAMER, 1959).

Natürlich gab es in den ersten Jahren erhebliche Umlagerungen. Vor allem kurz nordöstlich des Westkopfes, dem Divergenzbereich des Brandungsstromes, wurde der Strand wieder stark abgetragen. Im Westkopfbereich fanden sich 1959 zwischen den Bühnen B und E₁ noch 16 % des aufgespülten Sandes und weiter südlich zwischen den Bühnen D und F noch 61 %.

Der Divergenzbereich des Brandungsstromes dürfte zwischen den Bühnen ZB I und E₁

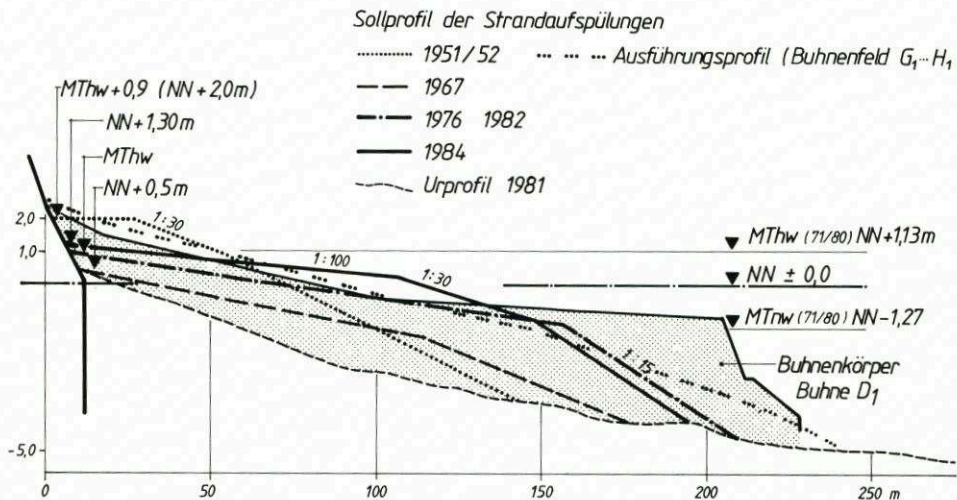


Abb. 4. Sollprofile der Strandaufspülungen 1951 bis 1984 im Bühnenfeld D₁-E₁ (Profil 41a) am Westkopf Norderneys

liegen. Von dort wird der Sand überwiegend durch Brandungsstrom den Strand entlang nach Süden bzw. nach Nordosten, später nach Osten transportiert. Er ergänzt auf dem Transportweg jeweils die unterversorgten Strandabschnitte und bleibt insgesamt für lange Zeit zum Schutze der Insel wirksam. Den stärksten Abtrag kann man nach einer Aufspülung jeweils im Feld D₁-E₁ beobachten.

3.2 Die zweite Strandaufspülung 1967

1967 war der Strand wieder so weit abgetragen, daß eine zweite Aufspülung durchgeführt werden mußte. Unter Verwertung eines finanziell sehr günstigen Nebenangebotes wurde der Sand vor dem Kopf der Bühne G₁ in unmittelbarer Strandnähe entnommen. Das brachte zwar größeren Sand als aus dem Watt, führte aber zu einer Entnahme aus dem Sandmangelgebiet, dessen Baggerloch nur allmählich durch Ablagerungen wieder aufgefüllt wurde (LUCK, 1970). Diese Aufspülung wurde auf das Westende der Insel mit dem wieder am weitesten ausgeräumten Strand zwischen den Bühnen E und K₁ beschränkt. Mit lediglich 240 000 m³ Sand konnte nur ein niedriger und schmaler Strand aufgespült werden, der am Deckwerksfuß eine Sollhöhe von nur NN +0,5 m erhielt. Im Bühnenfeld D₁-E₁ war schon im Sommer danach der eingebrachte Sand wieder weitgehend ausgeräumt.

Diese 1967 erstmals praktizierte konzentrierte Sandeingabe am Westkopf wurde mit geringen Randverschiebungen auch für die weiteren Aufspülungen beibehalten. Von Depotaufspülung kann dabei noch nicht die Rede sein. Vielmehr handelt es sich um die zweckmäßige Form einer konzentrierten Strandaufspülung bei langgestreckten, unterversorgten Stränden mit gerichtetem, strandparallelen Sandtransport. Die rechtzeitige Ergänzung des Sandvorrats im Divergenzbereich dient auch der Versorgung der weiteren Strandabschnitte.

3.3 Weitere Aufspülungen

Nach den sturmflutreichen Jahren 1973 bis 1976 mußte bereits 1976 die dritte Aufspülung in Angriff genommen werden. Zwischen den Bühnen E und E₁ wurden 400 000 m³ Sand eingespült. Erstmals gelang es, das über 20 m tiefe Seegat mit einer Dükerleitung zu kreuzen, so daß der Sand auf der westlich des tiefen Seegats gelegenen Robbenplate gewonnen werden konnte. Damit stand ein dem Strandsand entsprechendes Material mit einem mittleren Korndurchmesser von etwa 0,2 mm zur Verfügung, ja es konnte sogar teilweise größerer pleistozäner Sand mit einem großen Spülbagger gefördert werden.

Der Aufspülquerschnitt wurde gegenüber 1967 deutlich vergrößert und erhielt am Deckwerksfuß eine Sollhöhe von MThw = NN + 1,13 m (Abb. 4). Diese Aufspülung zeigte im Bühnenfeld D₁-E₁ ein sehr günstiges Langzeitverhalten. Erst im Laufe von sechs Jahren wurde der Sand allmählich wieder abgetragen (Abb. 5). Die Bedeutung der Sturmfluten für den Sandtransport macht diese Grafik der Abb. 5 ebenfalls deutlich. In dem nahezu sturmflutfreien Jahr 1979 ist zum Beispiel nur ein geringer Abtrag zu beobachten.

1982 mußte die vierte Strandaufspülung durchgeführt werden, und zwar zwischen den Bühnen D und H₁. Der Nordweststrand im Bereich der Georgshöhe war diesmal wieder stärker ausgeräumt. Die Aufspülung wurde nach dem Sollprofil 1976 wiederholt. Obwohl der Dükerbau mit erheblichem Risiko belastet ist, wurde auch dieses Mal der Sand wieder aus der Robbenplate entnommen, ohne daß in die Tiefenlage des pleistozänen Sandes vorgedrungen werden konnte. Im Winterhalbjahr nach der Aufspülung traten insgesamt über 30 Sturmfluten ein. Die Häufung dieser Sturmtiden und die dadurch hervorgerufene hohe Wellenenergiebelastung hat in diesem ersten Winter nach der Aufspülung über die Hälfte des aufgebrachtandes fortgeräumt. Der Sandtransport scheint bei Sturmfluthäufungen besonders groß zu sein. Da die Platen des Riffbogens durch den Seegang enger Sturmflutfolgen zunehmend abgeflacht werden, nimmt ihre Dämpfungswirkung auf den Seegang bei Sturmfluthäufung mehr und mehr ab.

Bereits 1984 mußte deshalb die fünfte Strandaufspülung durchgeführt werden. Zwischen den Bühnen C und J₁ wurden 410 000 m³ eingebaut. Abb. 4 zeigt das etwas fülligere Strandprofil, das am Deckwerksfuß auf NN + 1,3 m aufgespült wurde und von dort auf hundert Meter Breite die Neigung 1:100 erhielt.

Trotz der immer geringer werdenden Zeitspannen zwischen den einzelnen Aufspülungen hat der Sandnachschub auf Teilstrecken des Nordstrandes nicht für eine ausreichende Schutzwerk- und Schutzdünen-sicherung gereicht. Daher wurde es notwendig, 1983 die Bühnenfelder J₁ bis N₁ aufzufüllen und zur Wiederherstellung der Schutzdüne und ihrer Sicherung an der Kugelbake östlich der Bühne X₁ 1981 und 1983 zusammen 181 000 m³ Sand trocken einzubauen. Dieser Sand wurde mit Scrapern, Dumpfern bzw. Lkw östlich der Weißen Düne entnommen und 3 km zur Kugelbake bzw. 6 km zu den Bühnenfeldern J₁ bis N₁ transportiert. Einschließlich dieser Mengen wurden von 1951 bis 1984 3,015 Mio. m³ Sand eingebaut, wie Tab. 1 im einzelnen ausweist.

Die Schutzdünenwiederherstellung an der Kugelbake war nach dem Dünendurchbruch am Neujahrstage 1981 notwendig geworden. Ihm war eine fünfjährige Phase mit starker Erosion vorausgegangen, in der der Strand 2,5 m an Höhe verloren hatte. Erst 1985 setzte wieder eine deutliche Auflandung dieses Strandabschnittes ein, zu dem auch das Material der Strandaufspülung von 1976 beigetragen haben dürfte (s. Abschn. 3.5). Die Auswirkungen mangelnder Sandversorgung waren in diesem Strandabschnitt besonders schwerwiegend, da neben dem fehlenden strandparallelen Sandnachschub auch die in diesem Bereich häufige Anlandung von Platen ausblieb und andererseits die Seegangsenergie durch eine breite Rinne im Riffbogen stärker als normal auf den Strand treffen konnte.

Tabelle 1. Hauptmerkmale der Strandauffüllungen auf Norderney von 1951 bis 1984

Jahr	aufgespülte Länge (km)	Strandstrecke Buhnen	Einbaumenge (m ³)	Entnahmeort
1951/52	6,0	O bis V ₁	1 250 000	südl. Inselwatt
1967	2,0	E bis K ₁	240 000	vor Bühnenkopf G ₁
1976	1,1	E bis E ₁	400 000	Robbenplate
1982	1,5	D bis H ₁	470 000	Robbenplate
1984	1,7	C bis J ₁	410 000	Robbenplate
Trockeneinbau:				
1983	0,6	J ₁ bis N ₁	64 000	Strand östl. Weiße Düne
Wiederherstellung und Sicherung der Schutzdüne östl. der Kugelbake:				
1981	0,65		82 000	Strand östl. Weiße Düne
1983	0,43		99 000	Strand östl. Weiße Düne
Gesamtmenge des eingebauten Sandes:			3 015 000*	

*) Nicht erfaßt wurde der versuchsweise Einbau von 17 200 Tonnen Kies am Westkopf (WITTE, 1970).

3.4 Materialbilanz im Westkopfbereich

Vom Divergenzbereich des Brandungsstromes unmittelbar nordöstlich des Westkopfes aus wird vermutlich der überwiegende Teil des aufgespülten Sandes jeweils durch den Brandungsstrom nach beiden Seiten am Strand entlang transportiert. Über die ggf. in tiefere Vorstrandbereiche oder durch die Seegatströmung dem Strand entzogenen Anteile gibt es keine Ermittlungen. Während sich der nach Süden verfrachtete Sand infolge der stark abnehmenden Transportraten bereits am Weststrand zwischen Bühne E und G zu einem breiten Strand häuft, wird der nach Nordosten umgelagerte Sand entlang dem Nordstrand ohne besondere Kumulationsbereiche gleichmäßig weitertransportiert.

Am stärksten ausgeräumt wird jeweils das Bühnenfeld D₁-E₁. In Abb. 5 ist die Materialbilanz im Profil 41a in der Mitte dieses Bühnenfeldes aufgetragen. Dabei ist das jeweilige Strandmaterial des keilförmigen Querschnitts oberhalb des MTnw und seeseits des Deckwerksfußes ermittelt worden. Der Sandvorrat in diesem Strandkeil ist vor einer neuen Aufspülung fast völlig ausgeräumt worden, so daß die MTnw-Linie dann jeweils den Deckwerksfuß erreicht hat und die Fußspundwände bereits teilweise freigespült sind. Ein hohes Schadensrisiko für Deckwerke und Bühnen tritt bereits ein, wenn der Vorrat auf weniger als 50 m³/lfdm abnimmt. Hervorzuheben ist der schnelle Abtrag nach den Strandaufspülungen 1967 und 1982, der offenbar auf eine Häufung von Sturmfluten zurückzuführen ist. Die in Abb. 5 unterhalb der Zeitabszisse aufgetragene jährliche Sturmfluthäufigkeit macht die Wirkung der Sturmfluten auf den Sandabtrag in diesem Bühnenfeld deutlich.

Noch aussagekräftiger ist die Darstellung der Materialbilanz in Abhängigkeit von der Verweildauer von Sturmflutwasserständen über NN + 2,0 m in Abb. 6. Die Verweildauer ist jeweils für ein Sommer- und Winterhalbjahr des gewässerkundlichen Jahres vom 1. 5. bis 30. 4. des folgenden Jahres ermittelt worden, so daß die winterlichen Sturmfluten direkt in ihrer Wirkung auf die Stranderosion verfolgt werden können und außerdem die jeweilige Sturmfluteinwirkung von einem Aufspülungstermin an erfaßt werden kann.

In dieser Abb. 6 ist die Materialbilanz nach den Strandaufspülungen 1976, 1982 und 1984

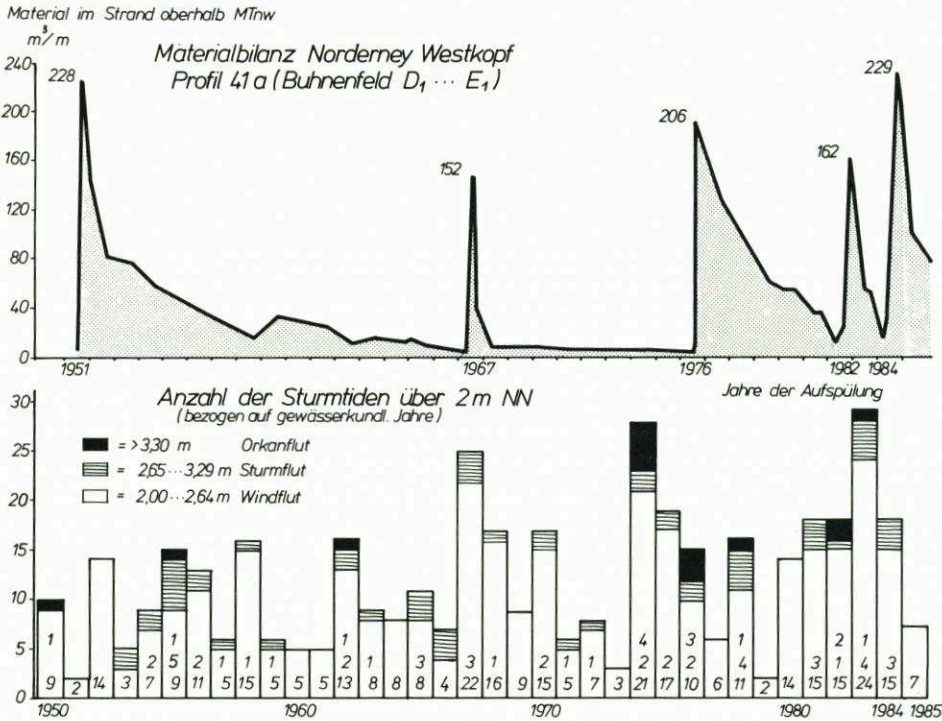


Abb. 5. Materialbilanz im Buhnenfeld D₁-E₁ am Westkopf Norderneys von 1951 bis 1984 und Sturmfluthäufigkeit

für die Profile 29 (B-I) und 41a (D₁-E₁) aufgetragen worden. Sie veranschaulicht auch den stärkeren Abtrag in Buhnenfeld D₁-E₁. Der große Einfluß der sturmflutbedingten Wellenenergiebelastung auf die Transportrate wird durch diese Darstellung untermauert. Zu diesem Ergebnis ist auch PÄTZOLD (1980) bei der Untersuchung des Strandabschnitts Buhne D-D₁ gekommen. Er bestätigt die Materialabnahme nach dem Exponentialgesetz (FÜHRBÖTER, 1974; AUSSCHUSS KÜSTENSCHUTZWERKE, 1981).

3.5 Die Sandverfrachtung am Nordstrand

Eine ausgeglichene Sandbilanz herrscht an Stränden mit schrägem Wellenangriff und daraus herrührendem Sandtransport stets, wenn die Erosionsrate der Auflandungsrate entspricht. Der unmittelbar nach Aufspülungen beobachtete starke Sandabtrag führt in den in Transportrichtung liegenden Nachbarfeldern zu einer höheren Auflandungsrate und somit vorübergehend zu einer deutlichen Strandaufhöhung. Nach jeder Strandaufspülung „wandert“ eine derartige Sandanhäufung den Norderneyer Nordstrand entlang und sorgt in dem jeweiligen Abschnitt für besonders günstige Strandverhältnisse. Die „Wandergeschwindigkeit“ läßt sich aus den Materialbilanzen der einzelnen Buhnenfelder verfolgen, wenngleich im östlichen Strandabschnitt eine gewisse Materialanlandung aus dem Riffbogen nicht auszuschließen ist.

Auf Abb. 7 sind die Materialbilanzen von 1975 bis 1985 am Nordwest- und Nordstrand

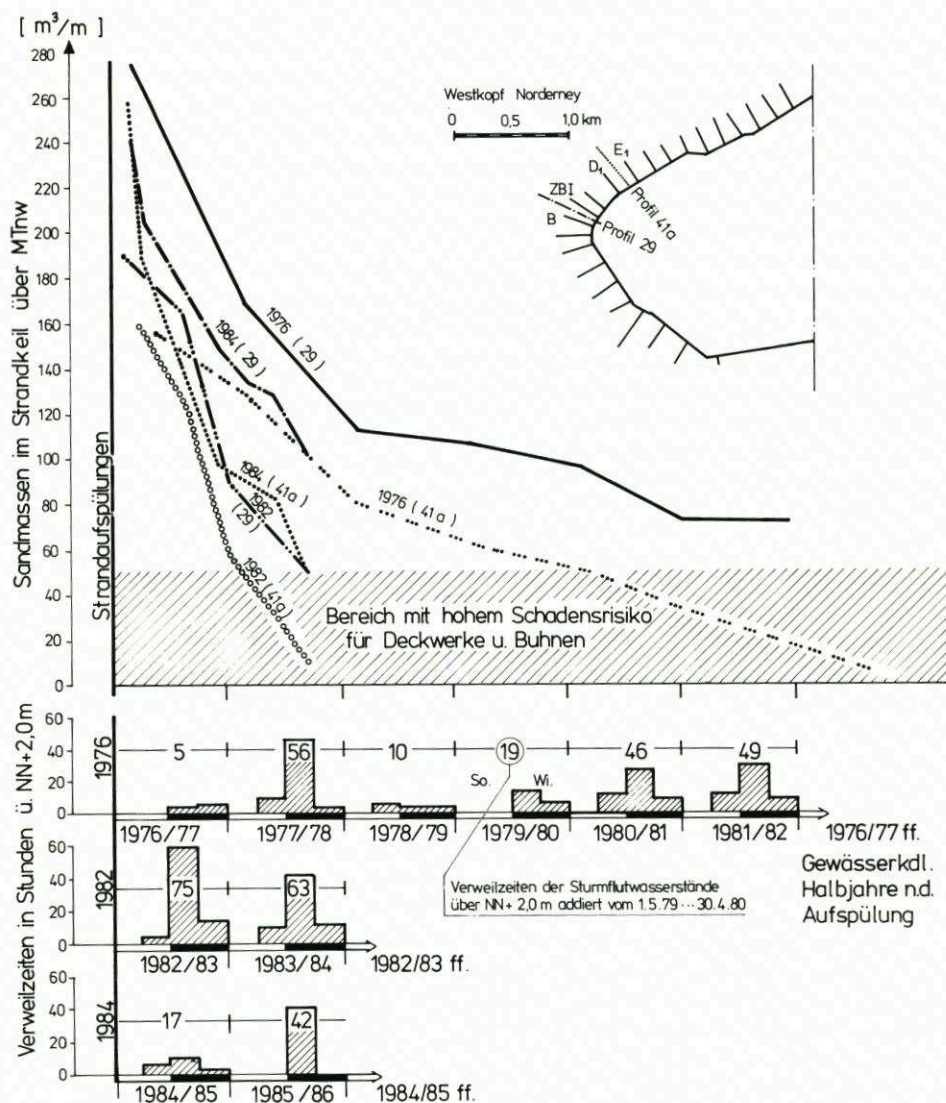


Abb. 6. Materialbilanz in den Bühnenfeldern B-ZBI (Profil 29) und D₁-E₁ (Profil 41a) nach den Strandaufspülungen 1976, 1982 und 1984 im Vergleich mit den Verweilzeiten der Sturmflutwasserstände über NN +2,0 m, jeweils für die Zeit vom 1.5. bis 30.4. – gewässerkundliches Sommer- und Winterhalbjahr – aus den als schraffierte Säulen dargestellten Quartalssummen addiert

in den Bühnenfeldern von D₁-E₁ bis T₁-U₁ aufgetragen worden. Die verstärkte Materialzufuhr nach der Strandaufspülung 1976 hebt sich deutlich in den Materialbilanzen ab. Trägt man die Maximalwerte der Sandanhäufung in den einzelnen Bühnenfeldern in Abhängigkeit von der Zeit auf, so ergibt die in Abb. 7 dargestellte Kurve einen groben Anhalt für die Wandergeschwindigkeit. Die Transportgeschwindigkeit dieser Sandanhäufung auf der 5,23 km langen Strandstrecke vom Bühnenfeld D₁-E₁ bis T₁-U₁ wächst u. a. offenbar mit zunehmender Schräge der Wellenangriffsrichtung und erreicht zwischen den Bühnen G₁ und U₁ etwa 1000 m/Jahr.

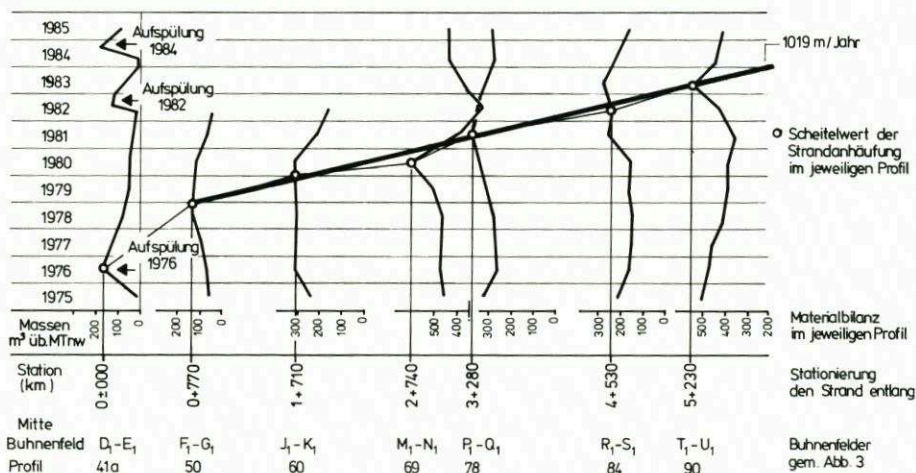


Abb. 7. Sandverfrachtung nach der Strandaufspülung 1976 vom Bühnenfeld D₁-E₁ den Nordstrand entlang bis Bühnenfeld T₁-U₁

Wie die Sandanhäufung nach Aufspülungen, so wandert auch eine Phase stark ausgeräumten Strandes vom Westkopf wie ein „Tal“ den Strand entlang. Das Unterlassen der fälligen Aufspülung am Westkopf führt daher nicht nur dort zu erhöhtem Schadensrisiko, sondern auch auf den dadurch unterversorgten anschließenden Strandbereichen, wie der Schutzdünenabbruch an der Kugelbake gezeigt hat (s. Abschn. 3.3).

3.6 Übersicht und Wertung

Insgesamt sind in den letzten 35 Jahren zur Sicherung der Insel Norderney 3,015 Mio. m³ Sand am Strand eingebaut worden (Tab. 1). Das ergibt nach 1951/52 Ergänzungsauffüllungen von im Mittel 53 000 m³/Jahr. Sie steigen nach den späteren Aufspülungen an, und zwar bis auf 140 000 m³/Jahr nach 1976. Die 1950 geschätzte notwendige Ergänzung von 90 000 m³/Jahr ist für die Zeit nach 1976 um 56 % überschritten worden (Tab. 2). Dieser Anstieg ist vor allem auf die zunehmende Sturmfluthäufigkeit zurückzuführen. Durch die Zunahme der wirkenden Seegangskräfte ist der Prozeß der Verfrachtung und der notwendigen Ergänzung beschleunigt worden. Dabei sind Sturmflut-Wasserstände und ihre Verweildauer, Seegang und ggf. auch die in Sturmfluten infolge der Windverdriftung über dem Juister Watt überwiegend

Tabelle 2. Mittlere Ergänzungsauffüllungen nach der Erstaufspülung 1951/52 und den folgenden Aufspülungen

Ergänzungsaufspülungen*)	Sandmenge (Mio m ³)	Jahre	mittl. Ergänzung (m ³ /Jahr)
1967, 1976, 1982, 1984	1,76	1952 bis 1984	53 000
1976, 1982, 1984	1,52	1967 bis 1984	90 000
1982, 1984	1,12	1976 bis 1984	140 000

*) einschl. Trockeneinbau 1981 bis 1983

seewärts gerichtete Tideströmung im Seegat sowie die seegangsbedingte Abflachung des Riffbogens als „Werkzeuge“ der Sturmfluten mit in Ansatz zu bringen.

Die richtungweisende Entscheidung um 1950 hat sich für Norderney grundsätzlich als richtig erwiesen. Durch Strandaufspülungen konnte die Insel wirksam gesichert werden. Bei einer konzentrierten Materialeingabe am Westkopf auf 1,1 bis 2,0 km Strandstrecke konnten unter Ausnutzung des brandungsbedingten Küstenlängstransportes sechs bis acht Kilometer unterversorgter Strände aufgehöhht sowie Schutzwerke und Schutzdünen gesichert werden.

4. Strandaufspülungen auf Langeoog

4.1 Langeoog, die Insel ohne Strand- und Dünenschutzwerke

Im grundlegenden Unterschied zu Norderney sind bisher auf Langeoog keine Strand- und Dünenschutzwerke notwendig geworden. Der natürliche Sandnachschub durch die regelmäßige Anlandung sorgt seit langem für eine ausgeglichene Sandbilanz am Nord- wie am Nordwest- und Weststrand. Die Lage der tiefen Rinne im Westen der Accumer Ee am steilen Ostufer des Baltrumer Osterhoek und ihre nördlich gerichtete Stoßrichtung bewirken diese gleichbleibend günstige Platanlandung. Ursache für diese Rinnenführung im Seegat ist die Form des Wateinzugsgebietes, von dem rd. 85 % östlich des Seegats zwischen der Insel Langeoog und der Festlandküste liegen und nur 15 % zum Baltrumer Watt gehören (LÜDERS, FÜHRBÖTER u. RODLOFF, 1972).

Aber diese Sandversorgung aus anlandenden Platen kann naturgemäß nicht mit einer solchen Perfektion den brandungsabhängigen Sandabtrag am Strand ergänzen, daß es nicht auch zu gewissen Schwankungen und Störungen in der Sandversorgung einzelner Strandabschnitte kommen könnte. So hat von 1947 bis 1955 ein starker Sandabtrag eine Rückverlagerung des Dünenfußes am Nordweststrand westlich des Wasserturmes (Profil 13) um rd. 20 m/Jahr zur Folge gehabt, bevor in den 60er Jahren ein starker Sandnachschub die Rückgewinnung der Dünen durch althergebrachte Dünenbaumaßnahmen mit dem Setzen von Buschzäunen und dem Pflanzen von Strandhafer teilweise wieder ermöglichte. Am Nordstrand hingegen fehlte zwischen 1960 und 1970 die Sandanlandung, so daß nördlich des Pirolatales ein starker Dünenabbruch mit bis zu 21,5 m/Jahr im Profil 25 eintrat (LÜDERS, FÜHRBÖTER u. RODLOFF, 1972).

Dieser beständige Dünenabbruch löste 1970 umfangreiche Untersuchungen aus. Sowohl HOMEIER und LUCK (1971) als auch LÜDERS, FÜHRBÖTER u. RODLOFF (1972) kamen zu dem Ergebnis, daß eine grundlegende Änderung der Sandverfrachtung durch die Accumer Ee nicht festzustellen sei und daß sich die morphologischen Verhältnisse im Seegat Accumer Ee nicht nachteilig für die Insel Langeoog entwickelt haben.

Auch aus früheren Jahrzehnten sind derartige Abbruchphasen bekannt, die als Folge der bevorzugten Hinwendung einzelner Platengruppen zu einem der beiden Strandabschnitte mit divergierender Transportrichtung zu erklären sind. Die große Bedeutung der Insel als Kurort und Erholungslandschaft, die hohen Gästezahlen, aber vor allem die z.T. strandnahen umfangreichen Bauinvestitionen des Kurortes lassen einen größeren Schwankungsbereich der Randdünen im Interesse der Sturmflutsicherheit und Bestandserhaltung der Insel heute nicht mehr zu.

1971/72 wurde eine Strandaufspülung des Nord- und Nordweststrandes (Profil 16 bis 28) notwendig. 1982 und 1984 mußte jeweils mit kleineren Aufspülungen in örtlich begrenzten Mangelbereichen Sand ergänzt werden.

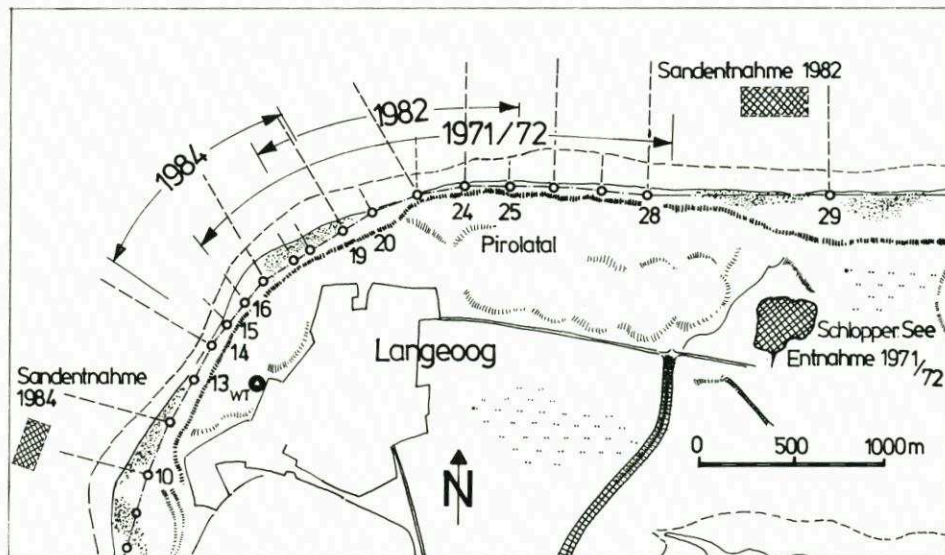


Abb. 8. Westende der Insel Langeoog mit Vermessungsprofilen sowie Kennzeichnung der Aufspülstrecken und der Sandentnahmen der Strandaufspülungen 1971/72 bis 1984

4.2 Strandaufspülung 1971/72 mit stabilisierendem Schlauchwerk aus Kunststoffgewebe

Auf der 2,5 km langen Strandstrecke des Nordwest- und Nordstrandes wurden 1971/72 550 000 m³ Sand aufgespült und mit einem zuvor verlegten Schlauchwerk stabilisiert. 50 bis 70 m vor dem Dünenfuß wurde ein Längswerk aus Zwillingschläuchen mit je 1 m Ø verlegt und in Abständen von durchschnittlich 60 m durch insgesamt 41 Riegel gleichen Durchmessers an den Dünenfuß angeschlossen. Zur Abweisung möglicherweise auftretender Längsströmungen am Schlauchwerk selbst wurden außerdem 80 Querwerke von je 10 m Länge in Abständen von 20 m angeordnet. Auf besonders niedrigen Strandstrecken mit insgesamt 900 m Länge wurde auf dem Zwillingschlauch ein weiterer Einzelschlauch verlegt. Die 50 bis 70 m breite erhöhte Berme zwischen dem Längswerk und dem Dünenfuß konnte die leicht erhöhten Tiden vom Dünenfuß fernhalten und bei Sturmfluten die stark erodierende Kliffbrandung von der gefährdeten Düne abhalten und als natürliche Strandbrandung auf der Berme auslaufen lassen. Bei schweren Sturmfluten mußte zwar noch ein Randdünenabbruch hingenommen werden; das Schlauchwerk erwies sich aber auch dann noch als vorteilhaft, da ein Großteil des abgespülten Sandes in seinen Feldern gehalten wurde und damit zur Sicherung des Dünenfußes erhalten blieb.

Die natürliche Platananlandung hat seit 1972 das Schlauchwerk allmählich eingesandet und anschließend den Strand erhöht und die Rückgewinnung der Randdüne begünstigt.

Bei der starken Strandabnahme Anfang der 80er Jahre trat das Schlauchwerk teilweise wieder zutage. Es zeigte sich, daß das vordere Längswerk offenbar beim Durchwandern von Strandprielen auf Teilstrecken erheblich abgesackt war und streckenweise bis zu einem Meter tiefer als nach dem Einbau lag. Aus diesem Grunde konnte es für eine erneute Aufspülung nicht aktiviert werden.



Abb. 9. Das Schlauchwerk auf dem Strand vor der Randdüne des Pirolatals auf Langeoog (Foto: WSA Norden, 28. 9. 1971)

4.3 Strandauffüllung durch Steuerung der Platananlandung 1982

Auf Langeoog verursachten die Orkanfluten des Winters 1981/82 eine starke Abnahme des Nordstrandes und schwere Dünenabbrüche mit der Gefahr des Dünendurchbruchs zum Pirolatal. Vor der geschwächten Randdüne am Profil 24 lag eine Sandplate etwa 350 m vor dem Strand und näherte sich diesem im spitzen Winkel weiter in östlicher Richtung. Überlegungen ergaben, daß die Gefahr gebannt werden könnte, wenn es gelingen würde, die Richtung dieser Plate zu ändern und sie direkt an den Strand zu steuern.

Der Sand einer Plate am Nordstrand Langeoogs bewegt sich bei dem aus Nordwesten anlaufenden Seegang zunächst auf der Außenböschung der Plate in östlicher Richtung und lagert sich am Ende der Plate ab. Bei steigendem Wasserspiegel wird ein Teil des Sandes außerdem über die Plate gespült und kommt auf der steilen inselseitigen Böschung zur Ablagerung. Durch den Brandungsstrom wird davon ein Teil in der Strandbalje weiter nach Osten transportiert und ebenfalls am Ende der Plate abgelagert (FÜHRBÖTER, 1982). Ein durch die Strandbalje aufgespülter Sanddamm könnte die Längsströmung und damit den Längstransport in der Strandbalje unterbinden und die unmittelbare Platananlandung ermöglichen.

Der Sanddamm wurde durch die Strandbalje mit 130 000 m³ Sand auf 80 cm über MThw aufgespült. Bei den geringen Strömungsgeschwindigkeiten in der Strandbalje bei normalen Tiden mit bis zu 0,4 m/s bereitete das Spülen des 1:25 geböschten Dammes keine Probleme. In seiner Wirkung auf die Brandung ist der Damm in gewisser Hinsicht vergleichbar mit der von FÜHRBÖTER bereits 10 Jahre vorher für Sylt konzipierten Sandbuhne (FÜHRBÖTER, 1973).

Für die äußere Verstärkung der Randdüne wurden auf den oberen Strand 100 m³/lfdm auf 1300 m Länge, zusammen also noch einmal 130 000 m³ Sand aufgespült. Die Schwachstelle wurde zusätzlich an der Rückseite aufgefüllt und mit Strandhafer bepflanzt. Der Sand dieser Aufspülmaßnahme wurde 2 km östlich aus dem gutversorgten Vorstrandbereich entnommen; er entsprach damit der üblichen Strandkörnung von $d_{50} \sim 0,2$ mm.

Die beabsichtigte Wirkung des Sanddammes trat in vollem Umfange ein. Auf Abb. 11 sind die Umrisse der Plate und des Dammes nach der Aufspülung im Juli 1982 in ihrem



Abb. 10. Blick auf Langeoogs Nordwesten mit sich annähernden Platen und dem neugespülten Sanddamm durch die Strandbalje (Foto: Kolde, Juli 1982, freigegeben d. d. Bez.-Reg. Weser-Ems, Nr. 115/884)

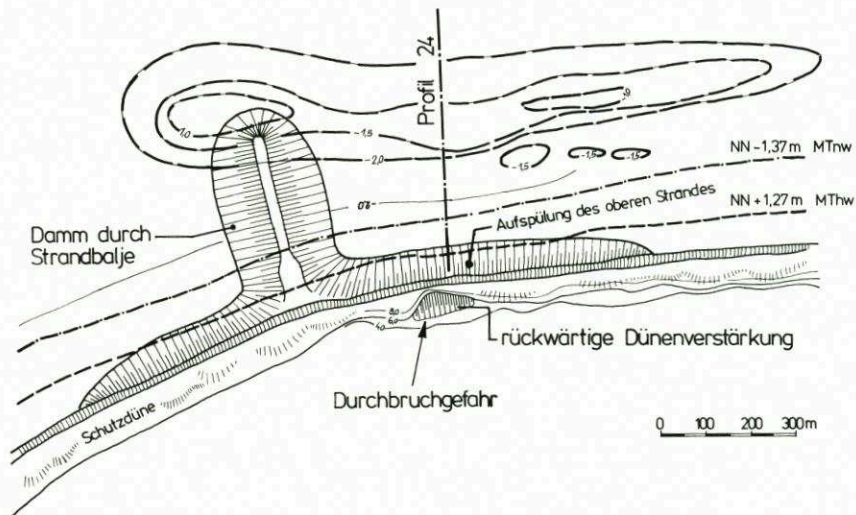


Abb. 11. Lageplan mit aufzuspülendem Damm durch die Strandbalje zur Plate und geplante Aufspülung des oberen Strandes 1982

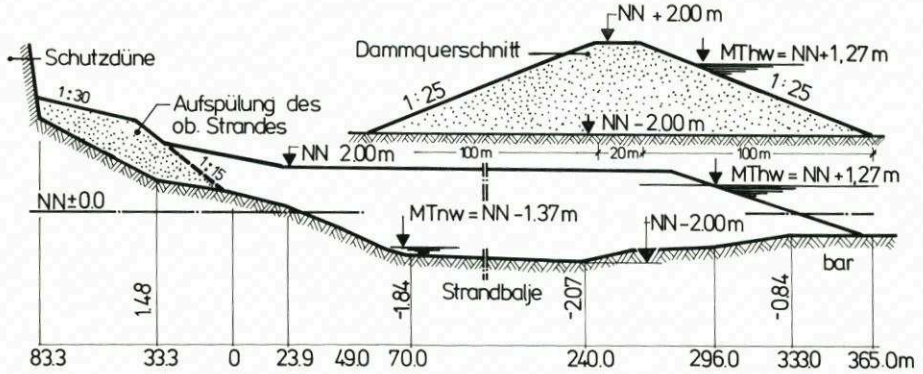


Abb. 12. Aufgespülter Sanddamm durch die Strandbalje zur Plate in Längs- und Querschnitt

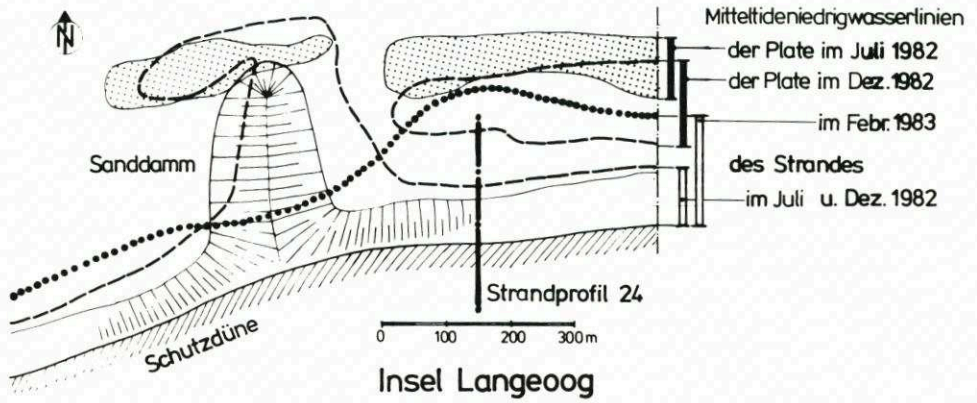


Abb. 13. Anlandung der Plate und Auflandung des Strandes nach Vermessungen im Juli 82, Dez. 82 und Febr. 83

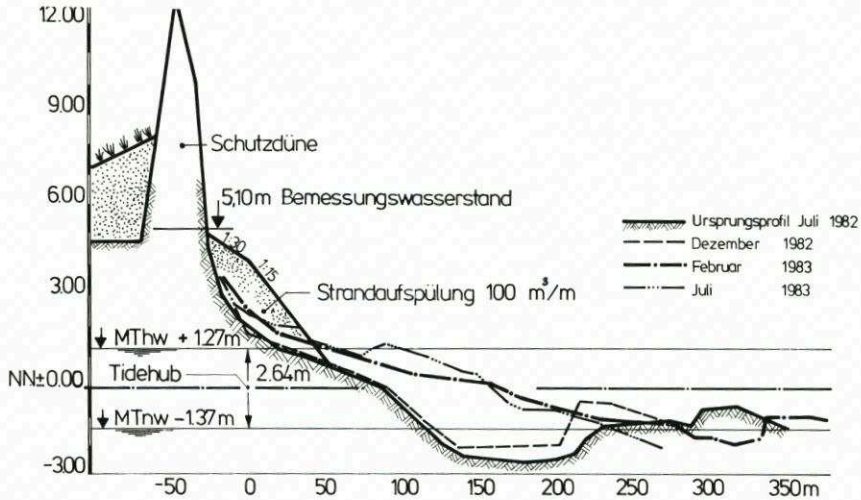


Abb. 14. Querschnitte durch Strand und Schutzdüne mit der anlandenden Plate nach Profilmessungen im Juli 1982, Dez. 82, Febr. 83 im Profil 24

Ursprung dargestellt. Im Dezember hat die Plate sich bereits deutlich direkt nach Süden zum Strand bewegt, während der Damm eine Schwenkung in östliche Richtung vollführt hat. Nach zahlreichen Sturmfluten haben sich Plate und Damm bis Februar 1983 unmittelbar am gewünschten Profil 24 voll an den Strand angelagert, wie die punktierte Linie zeigt (Abb. 13).

Auch der im rückwärtigen Bereich aufgefüllte Strandquerschnitt macht die Entwicklung deutlich (Abb. 14). Vom Juli bis Dezember ist die Aufspülung des oberen Strandes durch zahlreiche Sturmfluten weitgehend erodiert; die Plate hat sich etwas strandwärts verschoben. Bis Februar 1983 ist die Plate voll auf den Strand gewandert und hat diesen deutlich erhöht und verbreitert (Abb. 15) (ERCHINGER, 1984).

Unter Ausnutzung der natürlichen Transportkräfte konnte mit dem relativ geringen Einsatz von 1,0 Mio. DM die Erosionsphase überbrückt und die Sicherheit für Langeoog wieder hergestellt werden. Die Anlandung weiterer Platen hat inzwischen den Strand weiter aufgehöhht und den Wiederaufbau der Randdüne ermöglicht.

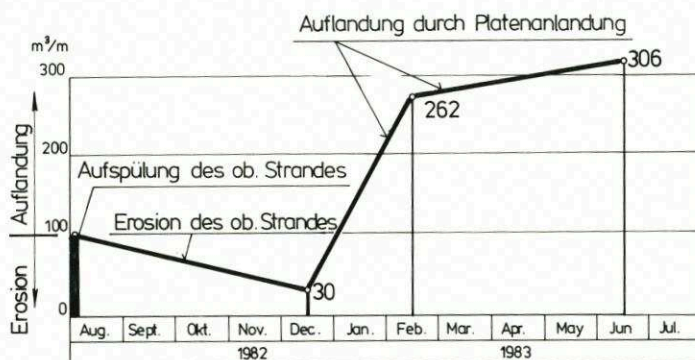


Abb. 15. Bilanz in Profil 24 – Erosion der Aufspülung des oberen Strandes bis Dez. 82 und anschließende Auflandung durch Anlandung der Plate

4.4 Aufspülung des Nordweststrandes 1984

In den beiden Winterhalbjahren 1982–1984 ereigneten sich zahlreiche Sturmfluten. Am Pegel Norderney wurden vom 1. 5. 1982 bis 30. 4. 1984 Verweilzeiten von Sturmflut-Wasserständen über NN + 2,0m von insgesamt 138 Stunden ermittelt (Abb. 6).

Am Nordweststrand Langeoogs zeichnete sich nach 1982 deutlich eine Erosionsphase ab (s. Zeit-Weg-Diagramm im Prof. 16 – Abb. 16). Daher verursachten diese Sturmfluten erhebliche Dünenabbrüche und machten 1984 eine Sicherung dieser unmittelbar vor dem Ort gelegenen Randdüne dringend erforderlich. Da sich eine niedrige Plate diesem Strandabschnitt näherte, wurde auch in diesem Fall zusammen mit der Aufspülung des oberen Strandes ein Sanddamm durch die Strandbalje gespült. Der aufgespülte, relativ feine Sand konnte 1,7 km südwestlich der Einbaustelle gewonnen werden.

Wie 1982 lagerte sich die niedrige Plate wie gewünscht an den Strand. Doch der den feinen Sand besonders stark erfassende Brandungsstrom des mangels vorgelagerter Platen nur wenig geschwächten Seegangs und das Ausbleiben weiterer Platenanlandungen in diesem Strandabschnitt haben zu einer erneuten starken Abnahme des oberen Strandes geführt. Da das Luftbild aus der Riffbogenbefliegung 1985 auch in naher Zukunft keine anlandenden Platen vor dem Nordweststrand erkennen läßt, ist zur Abwendung weiterer Dünenabbrüche

unmittelbar vor dem Kurzentrum und Ortskern eine weitere Aufspülung erforderlich (Abb. 16).

4.5 Übersicht und Wertung

Die Entwicklung hat den Gutachtern (LÜDERS, FÜHRBÖTER u. RODLOFF, 1972) recht gegeben. Mit gelegentlichen Ergänzungen der natürlichen Sandversorgung durch Strandaufspülungen konnte der Schutz der Insel sichergestellt werden, so daß der Bau eines Deckwerkes nicht erforderlich wurde. Dabei konnten die natürlichen Transportkräfte der Brandung zur gezielten Platananlandung genutzt und die Aufspülmengen reduziert werden.

Tabelle 3. Hauptmerkmale der Strandaufspülungen auf Langeoog von 1971 bis 1984

Jahr	aufgespülte Länge (km)	Strandstrecke Profil	Einbaumenge (m ³)	Entnahmeort
1971/72	2,5	16 bis 28	550 000	Dünengebiet im Großen Schlopp (heutiger Schlopper See)
1982	1,3	19 bis 25	260 000*)	Vorstrand nördl. des Schlopper Sees
1984	1,0	14/15 bis 20	290 000*)	Seegat westlich Profil 10
Insgesamt aufgespült von 1971 bis 1984:			1 100 000	

*) einschl. Sanddamm durch Strandbalje.

Ein grober Wirtschaftlichkeitsvergleich verstärkt noch die Vorzüge dieses Verfahrens. Die in 15 Jahren für die drei Aufspülungen – 1971 einschl. Schlauchwerk – aufgewendeten Kosten in Höhe von rd. 6 Mio. DM betragen nur einen Bruchteil eines 2,5 km langen, schweren Deckwerkes und bleiben sogar weit hinter einer für die Deckwerksbaukosten anzusetzenden Zinslast für diese Zeitspanne. Die Maßnahme von 1971/72 allein verursachte mit rd. 4 Mio. DM lediglich Kosten in Höhe von etwa 10 % eines Deckwerksbaues.

5. Mindeststrandprofil zur Abschätzung des kritischen Schutzwertes und Vorsorge-Aufspülprofil zur Verhinderung von Randdünenabbrüchen auf Langeoog

Langeoogs Schutzdünen sind nicht durch Schutzwerke gesichert und sind daher durch Sturmfluten leichter verletzbar. Die den Ort und das Pirolatal schützenden Dünen haben durch den starken Abbruch von 1947 bis 1955 am Weststrand bzw. von 1960 bis 1970 am Nordstrand erheblich an Substanz verloren. Zur Erhaltung ihrer Schutzfunktion bei sehr schweren anhaltenden Belastungen kann eine weitere Schwächung im Bereich der Ortslage nicht hingenommen werden. Die diesen Dünen vorgelagerten Strände sind daher stets so hoch zu halten, daß ein nennenswerter Dünenabbruch nicht eintreten und der Dünenfuß durch Dünenbaumaßnahmen gesichert werden kann.

Es stellt sich folglich die Aufgabe, das zum Schutz der Randdüne erforderliche Strandprofil zu dimensionieren. NIEMEYER (1985) hat zur rechnerischen Ermittlung von Sturmprofilen an Randdünen und Stränden einige in den Niederlanden entwickelte Berechnungsverfahren

ren (TAW, 1972; BAKKER, 1979; Waterloopkundig Laboratorium, 1982) auf Sturmprofile der Ostfriesischen Inseln übertragen und geprüft. Diese Berechnungen ergeben das bei Sturmfluten ausgeräumte Strand-Dünen-Profil in Abhängigkeit u. a. vom Seegang und der dadurch bedingten Brecherlinie.

Bekanntlich werden in schweren Sturmfluten selbst hinter hohen, breiten Stränden die Dünen angeschlagen. Das Sturmflutprofil eines Strandes wird stets im oberen Bereich ausgeräumt und der dort abgetragene Sand wird seeseits abgelagert. Während der Frühjahrs- und Sommermonate wird bei hohen, breiten Stränden ein solches Sturmflutprofil wieder zurückgeformt. Durch aeolischen Transport wird der angeschlagene Dünenfuß – häufig durch Dünenbaumaßnahmen unterstützt – dann aufgefüllt. Auf Abb. 16 läßt sich erkennen, daß selbst Orkanfluten wie 1962, 1973 (fünf) und 1976 (zwei) keinen bleibenden Rückgang des Dünenfußes (NN + 3,0-m-Linie) verursacht haben. Diese Berechnungsverfahren ergeben damit keinen unmittelbaren Anhalt für die Notwendigkeit einer Strandaufspülung. Aus dem Zeit-Weg-Diagramm (Abb. 16) über die Strandentwicklung seit 1920 läßt sich erkennen, daß Sturmfluten die jeweils vorherrschenden Prozesse der Strandveränderung nur beschleunigt haben. In Auflandungs- wie in Erosionsphasen wird durch den stärkeren Eintrag an Seegangenergie die Sandbewegung beschleunigt und die vorherrschende Auflandung oder Erosion verstärkt. Der Randdünenabbruch ist dabei um so größer, je schmaler und niedriger der Strand ist.

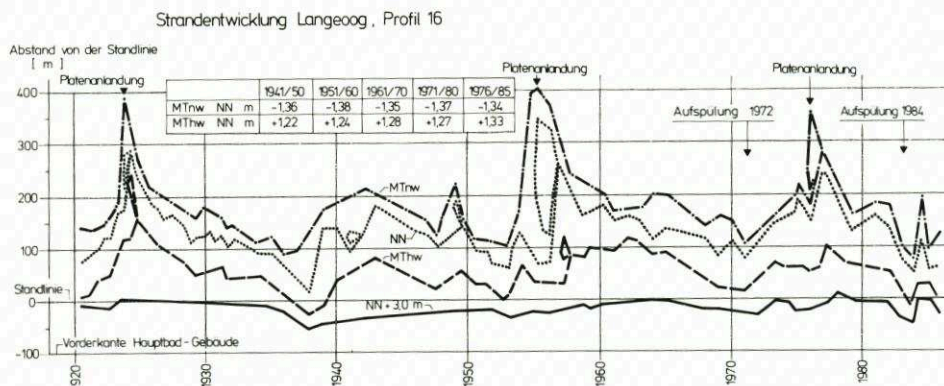


Abb. 16. Strandentwicklung vor dem Hauptbad Langeoogs im Profil 16 – Zeit-Weg-Diagramm seit 1920

Entscheidend für den Bestand der Randdüne ist weniger die einzelne Sturmflut als vielmehr der Zustand des Strandes. Dieser Zustand kann nach ERCHINGER (1975) in einen Strand mit Sandüberschuß (Typ 1), ausgeglichener Sandbilanz (Typ 2) oder Sandmangel (Typ 3) typisiert werden. Nach den Sturmfluten im Herbst 1973 konnten auf Spiekeroog folgende kennzeichnenden Größen für die drei Randdünen-Strand-Typen bei dem mittleren Korn-durchmesser von 0,2 mm gefunden werden:

	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Abstand von der MThw-Linie zum Dünenfuß	110 m	65 m	20 m
Strandneigung zwischen MThw und MTnw – 1 m	1:90	1:60	1:40

Die weitere Entwicklung hat gezeigt, daß für das Profil 2 (Typ 2) wahrscheinlich schon 1973 die Erosionsphase eingesetzt hatte und die Werte daher an der unteren Grenze bzw. dem Übergang zu Typ 3 liegen.

Für das Langeoog-Profil 16 (Abb. 8) am Nordweststrand sind aus dem Zeit-Weg-Diagramm (Abb. 16) für 12 einzelne Jahre die die Strandgeometrie kennzeichnenden Grunddaten ermittelt worden (Tab. 4). Neun dieser Jahre fallen in Erosionsphasen, während drei zu Zeiten mit Randdünenanwachs gehören. Die Daten der Erosionsphasen sind in der Überzahl, um aus ihnen die Grenzkriterien für den Randdünenrückgang herleiten zu können.

Tabelle 4. Kennzeichnende Werte der Strandgeometrie des Strandprofils 16 auf Langeoog in einzelnen Jahren mit Erosion oder Anwachs*)

Jahr	Erosionsphasen mit Randdünenabbruch										Randdünenanwachs		
	1926	1932	1936	1937	1952	1965	1968	1979	1982	1940	1943	1946	
Abstand NN \pm 0 bis MThw: a [m]	65	80	57	50	55	50	80	60	80	100	100	90	
Strandneigung 1:n zwischen NN u. MThw: n	53	65	47	41	44	39	63	45	60	82	82	74	
	Neigung des oberen nassen Strandes i. M. 1:49										i. M. 1:79		
Abstand NN \pm 0 bis NN + 3,0 m: b [m]	110	125	90	80	92	140	130	105	140	183	215	155	
Abstand MTnw bis NN: c [m]	38	35	23	55	30	55	30	40	45	48	20	35	
Strandneigung 1:m zwischen MTnw u. NN \pm 0: m	28	26	17	40	22	41	22	30	34	35	15	26	
	Neigung des nassen Strandes i. M. 1:27										i. M. 1:22		
Verschiebung der NN + 3,0 m- Linie (- = Abbruch) [m/Jahr]	-3	**)	-17	-17	-12	**)	-5	-15	**)	+13	+3	+3	

*) entnommen aus dem Zeit-Weg-Diagramm (Abb. 16)

***) im Sommer durch Dünenbaumaßnahmen wieder ausgeglichen

Nach Tab. 4 konnte eine Randdünenentwicklung in Abhängigkeit von folgenden die Strandgeometrie kennzeichnenden Größen ermittelt werden:

- Abstand zwischen NN- und MThw-Linie = a
- Strandneigung zwischen NN- u. MThw-Linie = 1:n
- Abstand zwischen NN- und NN + 3,0-m-Linie (Dünenfuß) = b

Vergleichsweise ist ferner der wenig aussagekräftige Wert

- Abstand zwischen NN- und MTnw-Linie = c
- eingetragen worden.

Die kennzeichnenden Werte betragen in Zeiten

der Stranderosion und des
Randdünenabbruchs

a < 90 m
1:n = 1:40 bis 1:65
b < 150 m

der Auflandung und des Rand-
dünenanwachses

a > 90 m
1:n = 1:74 u. flacher
b > 150 m

Das Mindeststrandprofil mit Grenzwerten für einen Randdünenrückgang kann somit mit

$$a = 90 \text{ m, } n = 70 \text{ und } b = 150 \text{ m}$$

beschrieben werden (Abb. 17).

Die Neigung des unteren nassen Strandes zwischen MTnw und NN \pm 0 schwankt

infolge von Priel- und Platenverschiebungen stark und läßt keinen systematischen Zusammenhang mit den sedimentologischen Bedingungen des Strandabschnitts erkennen.

Das oben beschriebene Mindestprofil wird in Erosionsphasen weiter abgetragen werden und bietet schon bald keinen ausreichenden Schutz mehr. Zur Vorsorge gegen zu erwartende Stranderosion ist dieses daher bei einer Strandaufspülung um den zu erwartenden Strandabtrag höher aufzuspülen.

Aus dem Zeit-Weg-Diagramm lassen sich auch die Erosionsraten ermitteln. Von 1934 bis 1938 wich die MThw-Linie um 88 m, i. M. um 22 m/Jahr, zurück. Bei der Neigung des oberen nassen Strandes von 1:47 im Jahre 1936 ergibt sich somit eine flächenhafte Erosion von nahezu 0,5 m/Jahr. 1982 bis 1984 war der Rückgang aufgrund der Sturmfluthäufung noch größer.

Um während einer starken Erosionsphase den Sandverlust von zwei Jahren zusätzlich durch Stranderhöhung vorzuhalten, muß das oben entwickelte Mindestprofil zur Verhinderung von Randdünenabbrüchen daher noch um mindestens 1,0 m auf ein „Vorsorgeprofil“ erhöht werden.

Ob nach zwei Jahren wieder natürlicher Sandnachschub zu erwarten ist, läßt sich im allgemeinen nicht vorhersagen, aber mit Hilfe regelmäßiger Vermessungen, Peilungen und Luftbildaufnahmen doch abschätzen. Bei besonders ungünstiger Situation ist ggf. durch erhöhte Aufspülmengen eine Vorsorge für eine längere Zeit zu treffen.

Mit Hilfe dieser Ermittlung kann somit das Mindestprofil und das Vorsorgeprofil für eine Aufspülung von Langeoogs Nordweststrand entwickelt werden (Abb. 17). Während das Mindestprofil die Abschätzung eines kritischen Strandzustandes ermöglicht, dient das Vorsorgeprofil der Dimensionierung der Aufspülung.

Auf Langeoog kann ein derartig breites, flachgeneigtes Strandprofil aufgespült werden, da

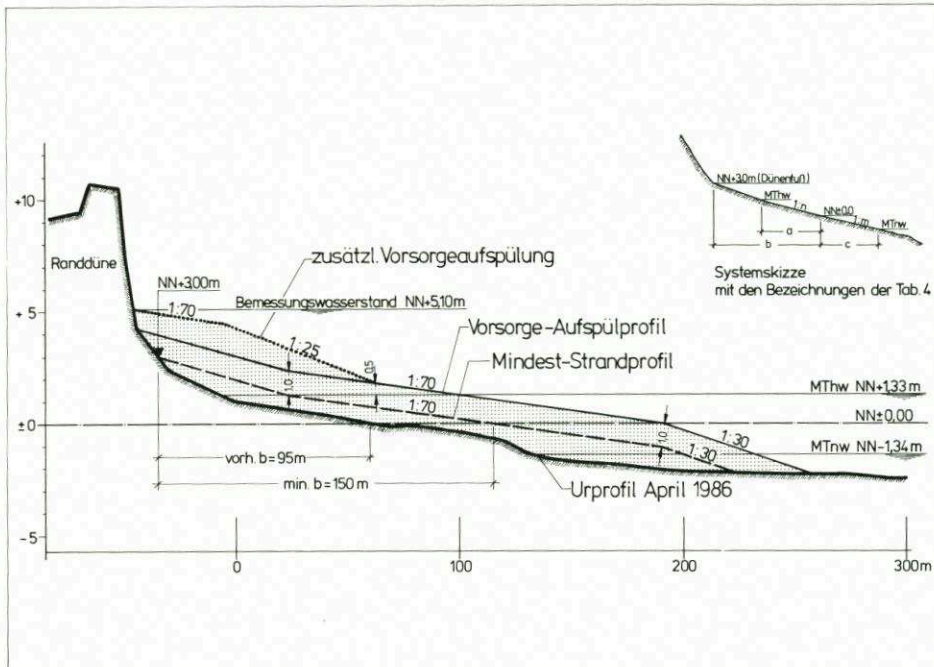


Abb. 17. Mindest-Strandprofil als Kriterium für eine erforderliche Strandaufspülung und Vorsorge-Aufspülprofil zur Verhinderung von Randdünenabbrüchen im Profil 16 der Insel Langeoog

der Unterwasserstrand recht flach geneigt ist. Das flachgeneigte Profil erfüllt für den aktiven Strandschutz die günstigste Wirkung, da es die Brandungszone weiter vorverlegt. Bei derartigen Gegebenheiten dürfte sich daher ein Aufspülprofil anbieten, das mit flacher Neigung den natürlichen Verhältnissen besonders nahe kommt. Bei steilen und tiefen Vorstränden dürfte dagegen eine Bevorratung in Form eines „Verschleißkörpers“ auf dem oberen Strand (Amt für Land- und Wasserwirtschaft Husum, 1985) geeigneter sein.

Die Entwicklung des Mindest- und des Vorsorge-Strandprofils sind beispielhaft am Profil 16 auf Langeoog vorgenommen worden. Da die Strandentwicklung entscheidend von den örtlichen hydrologischen und sedimentologischen Bedingungen und dabei besonders von der Stärke und Richtung des Seegangs und der Sandkörnung abhängig ist, können diese Ergebnisse nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Eine vergleichende Untersuchung unterschiedlicher Strände wird daher für eine allgemeingültige Festlegung notwendig sein.

6. Schlußbetrachtung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die richtungweisende Entscheidung von 1950 sich bestätigt hat und nicht nur auf Norderney, sondern auch auf Langeoog Strandaufspülungen für den Schutz der Insel sich bewährt haben. In beiden Fällen wird durch Aufspülungen der Sand ergänzt, der zeitweilig (Langeoog) oder dauernd (Norderney) notwendig ist, um die durch Tideströmung und Brandung verursachte Sandverfrachtung auszugleichen.

Für Norderney hat sich gezeigt, daß eine ausreichende und rechtzeitige Sandeingabe am Westkopf die wirtschaftlichste Sicherung der gesamten sechs bis acht km langen Schutzwerk- und Dünenstrecke bis zum Platananlandungspunkt darstellt. Dazu genügt im Aufspülbereich am Deckwerksfuß eine Strandhöhe von etwa $NN \pm 0$. Im Interesse einer gewissen Bevorratung und Verlängerung der Aufspülintervalle wird der Strand jedoch jeweils bis etwa MThw aufgespült.

Auf Langeoog konnten die Randdünenabbrüche am ortsnahen Nord- und Nordweststrand durch die Aufspülungen seit 1971 weitgehend aufgehalten werden. Durch rechtzeitiges Aufspülen sollte für die Zukunft ein weiterer Abbruch der bereits stark geschwächten Randdünen verhindert werden. Durch Bestimmung des Mindestprofils kann die Gefahr eines weiteren Abbruchs rechtzeitig erkannt werden. Aufzuspülen ist dann nicht nur das Mindestprofil, sondern das höhere Vorsorgeprofil mit Überhöhung für zu erwartenden Abtrag.

Auf der Insel Sylt ist vor gefährdeten Randdünenstrecken ein Sandvorrat in Form eines sogenannten „Verschleißkörpers“ aufgespült worden (Amt für Land- und Wasserwirtschaft Husum, 1985). Auch auf Langeoog kann ein mit Vorsorgeprofil aufgespülter Strand den gefährdeten Bereich aktiv gegen weiteren Abbruch während der winterlichen Sturmfluten sichern. Auf diese Weise kann für Dünenküsten die gleiche Sicherheit vor Substanzverlust geschaffen werden, wie sie scheinbar – kurzfristig gesehen – schwere Schutzwerke bieten. Der Vorteil der natürlichen Strand- und Dünenlandschaft ohne Schutzwerke und ihre nicht zu vermeidenden Nebenwirkungen läßt sich auf diese Weise erhalten, ohne daß auf einen hohen Grad an Sicherheit gegen Sturmflutabbrüche verzichtet werden muß. Strandaufspülungen für den Schutz der Inseln bestätigen damit ihre Überlegenheit gegenüber althergebrachten bautechnischen Schutzwerken.

Um nicht nur auf gefährdenden Strandabtrag schnell zu reagieren, sondern der notwendigen Vorsorge nachkommen zu können, sind regelmäßige Strandvermessungen und Riffbogenbefliegungen vorzunehmen. Eine sorgfältige Auswertung der natürlichen Strandentwicklung

und Platenbewegung bestimmen Zeitpunkt, Art und Umfang des Eingreifens. Natürliche Abläufe des Sandtransportes können unter Umständen beeinflußt und nutzbar gemacht werden.

Sowohl für Norderney (KRAMER, 1959) wie auch für Langeoog (LÜDERS, FÜHRBÖTER u. RODLOFF, 1972) sind Verfahren zur regelmäßigen Sandeingabe durch eine fest installierte Spülanlage vorgeschlagen worden. Ob der Vorteil des schnellen Handelns die in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht zu lösenden Schwierigkeiten aufwiegt, wäre noch eingehend zu untersuchen. Bei jeweils kurzfristig möglicher Eingabe über eine fest installierte Anlage kann die Vorsorgemenge entsprechend geringer gehalten werden.

In dem jetzt anlaufenden, vom BMFT geförderten Forschungsvorhaben des KFKI werden die komplexen Vorgänge der Sandverfrachtung durch Strömung und Brandung auf Norderney näher untersucht werden. Aufgrund weiterer Erkenntnisse dürfte eine Optimierung von Strandaufspülungen nicht nur der Sicherung der Insel Norderney, sondern allen Schutzvorhaben an erodierenden Strand- und Dünenküsten zugute kommen. Das Ziel wird sein, die Sandverfrachtung in ihrer Abhängigkeit von Seegangsenergie, Wellenrichtung und Wasserstand zu quantifizieren, die Aufspülprofile zu optimieren, den Einfluß der Körnung des Eingabematerials zu erforschen sowie ein Verzögern des Strandabtrages im Westkopfbereich Norderneys durch fülligere Aufspülprofile oder durch seegangsbeeinflussende Bauanlagen zu untersuchen. Auch die Möglichkeit, durch fest installierte Spülanlagen jeweils kurzfristig gezielt Sand auf den Strand zu spülen, soll in diesem Zusammenhang in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht mit untersucht werden.

7. Schriftenverzeichnis

- AMT FÜR LAND- UND WASSERWIRTSCHAFT HUSUM (Fr. H. Andresen): Fachplan Küstenschutz Sylt. Dienstbericht, Husum 1985.
- Ausschuß KÜSTENSCHUTZWERKE der HTG und DGEG: Empfehlungen D der EAK 1981: Strandauffüllungen als Küstenschutz. Die Küste, H. 36, 1981.
- BAKKER, W. T.: Calculation of Dune Erosion during Storm Conditions. Rijkswaterstaat - Advisory Department at Flushing. 's-Gravenhage, 1979.
- DETTE, H. H.: Wellenmessungen und Brandungsuntersuchungen vor Westerland/Sylt. Mitt. des Leichtweiß-Instituts der Techn. Universität Braunschweig, H. 40, 1974.
- EDELMAN, T.: Dune Erosion during Storm Conditions. Proc. 11th Conf. on Coastal Engineering, London, 1968.
- ERCHINGER, H. F. u. SNUIS, G.: Kunststoffgewebesläuche im Küstenwasserbau. Wasser und Boden, H. 1, 1972.
- ERCHINGER, H. F.: Protection of Sandy Coasts in Dependence of the Dune-Beach-Type. Proc. 14th Conf. on Coastal Engineering, Copenhagen, 1974.
- ERCHINGER, H. F.: Schutz sandiger Küsten in Abhängigkeit vom Schutzdünen-Strand-Profil. Die Küste, H. 27, 1975.
- ERCHINGER, H. F.: Beach Fill by Turning the Course of Sandbars. Proc. 19th Conf. on Coastal Engineering, Houston/Texas, 1984.
- FRANZIUS, Otto: Küstenschutz auf Langeoog in neuer Bauweise. Ostfriesland, Zeitschrift für Kultur, Wirtschaft und Verkehr, H. 1, 1972.
- FÜHRBÖTER, A.: Eine Refraktionsbühne aus Sand. Wasser und Boden H. 12, 1973.
- FÜHRBÖTER, A.: A Refraction Groyne Built by Sand. Proc. 14th Conf. on Coastal Engineering, Copenhagen, 1974.
- FÜHRBÖTER, A.: Küstenschutz auf neuen Wegen. VDI-Z. 116, Nr. 8, 1974.
- FÜHRBÖTER, A.: Über Verweilzeiten und Wellenenergie. Mitt. des Leichtweiß-Instituts der Techn. Universität Braunschweig, H. 65, 1979.
- FÜHRBÖTER, A., KÖSTER, R., KRAMER, J., SCHWITTERS, J. u. SINDERN, J.: Sandbühne vor Sylt zur Stranderhaltung. Die Küste, H. 23, 1972.

- FÜHRBÖTER, A., KÖSTER, R., KRAMER, J., SCHWITTERS, J. u. SINDERN, J.: Beurteilung der Sandvorspülung und Empfehlungen für die künftige Stranderhaltung am Weststrand der Insel Sylt. *Die Küste*, H. 29, 1976.
- FÜHRBÖTER, A.: Empfehlungen zu einer Strandvorspülung auf Langeoog. Braunschweig, 1982 (unveröffentlicht).
- GRAAF, J. von de: Dune Erosion during a Storm Tide. *Coast. Eng.* Vol. 1, No. 2, 1977.
- HOMER, H. u. LUCK, G.: Untersuchung morphologischer Gestaltungsvorgänge im Bereich der Accumer Ee als Grundlage für die Beurteilung der Strand- und Dünenentwicklung im Westen und Nordwesten Langeoogs. Jahresbericht 1970, Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz, Norderney, 1971.
- KÜSTENAUSSCHUß NORD- UND OSTSEE, Arbeitsgruppe Norderney: Gutachtliche Stellungnahme zu den Untersuchungen über die Ursachen der Abbrucherscheinungen am West- und Nordstrand der Insel Norderney sowie zu den zum Schutz der Insel vorgeschlagenen seebautechnischen Maßnahmen. *Die Küste*, Jg. 1, H. 1, 1952.
- KRAMER, J.: Die Strandaufspülung Norderney 1951-1952 und ein Plan zu ihrer Fortführung. *Die Küste*, Jg. 7, 1958/59.
- LUCK, G.: Die zweite Strandaufspülung am Weststrand Norderney. Jahresbericht 1968, Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz, Norderney, 1970.
- LÜDERS, K., FÜHRBÖTER, A. u. RODLOFF, W.: Neuartige Dünen- und Strandsicherung im Nordwesten der Insel Langeoog. *Die Küste*, H. 23, 1972.
- LÜDERS, K. u. LUCK, G.: Kleines Küstenlexikon. Verlag August Lax, Hildesheim, 1976.
- NIEMEYER, H. D.: Zur rechnerischen Ermittlung von Sturmprofilen an Randdünen und Stränden. Jahresber. d. Nieders. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Forschungsstelle Küste, Norderney, 1985.
- PÄTZOLD, U.: Bilanz und Verformung aufgespülter Sandstrände. Jahresbericht 1980, Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz, Norderney, 1982.
- PEPER, G.: Die Entstehung und Entwicklung der Inselschutzwerke auf Norderney mit besonderer Berücksichtigung der Bauten der letzten Jahre. *Neues Archiv für Niedersachsen*, Bd. 8, H. 3, 1955/56.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW): Richtlijn voor de Berekening van Duinafslag tengevolge van een Stormvloed. s'-Gravenhage, 1972.
- Waterloopkundig Laboratorium: Rekenmodel voor de Verwachting van Duinafslag tijdens Stormvloed. Verslag Onderzoek M 1263 - Deel IV, De Voorst, 1982.
- WITTE, H.-H.: Die Schutzarbeiten auf den Ostfriesischen Inseln. *Die Küste*, H. 19, 1970.