

Sonderdruck

Objektschutz Haus Kliffende

**Baelemente aus Geokunststoff und Sand
widerstehen der Nordseebrandung seit
zehn Jahren. Hans Nickels und Georg
Heerten berichten über ein Pilotprojekt
auf der Insel Sylt.**

Juli 2011 (Nachdruck)

**Dipl.-Ing. Hans Nickels
Prof. Dr.-Ing. Georg Heerten**

Bauelemente aus Geokunststoff und Sand widerstehen der Nordseebrandung seit vielen Jahren. Hans Nickels und Georg Heerten berichten über ein Pilotprojekt auf der Insel Sylt

Objektschutz Haus Kliffende

Nach den Sturmfluten Anfang 1990 stand das Haus Kliffende in Kampen auf der Nordseeinsel Sylt nur noch ca. fünf Meter von der Kliffkante entfernt. In einem Pilotprojekt wurde zum Schutz des Hauses eine Kombination von Strandvorspülung und integrierter geokunststoffverpackter Böschung als zweite Verteidigungslinie gebaut. Der folgende Beitrag berücksichtigt die Besonderheiten des Entwurfes und der Bauausführung.

1 Einleitung

Anfang 1990 hatte eine Serie von Sturmfluten erhebliche morphologische Veränderungen an der Westküste der Insel Sylt hervorgerufen. Danach befand sich das historische »Haus Kliffende«, welches auf Höhe des Ortes Kampen am Sylter Weststrand liegt, nur noch 5,40 m von der Kliffkante entfernt. Das Haus war in große Gefahr geraten, bei einer nächsten Sturmflut mit seinem Westgiebel die Kliffkante hinunterzustürzen und irreparablen Schaden zu nehmen.

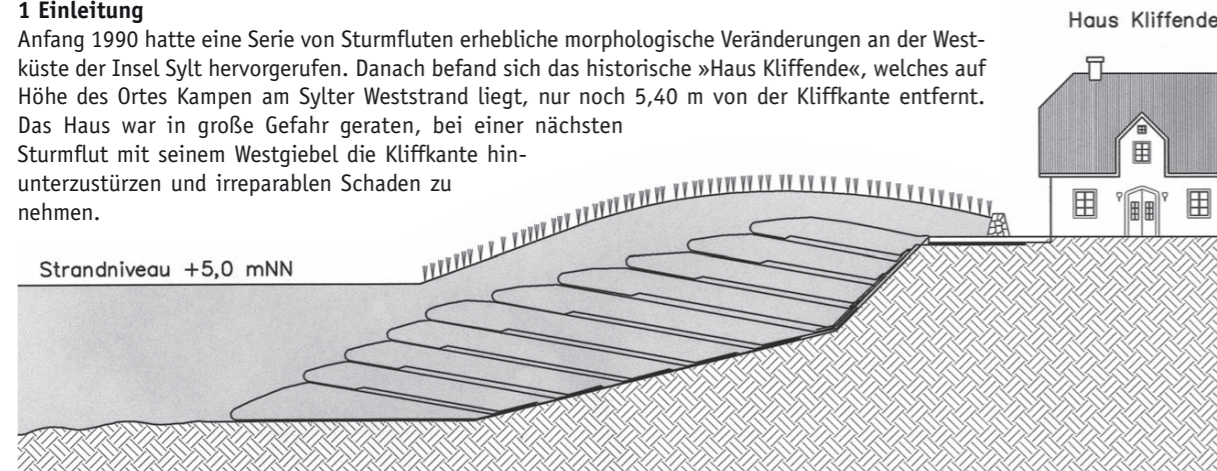


Abb. 1 Regelquerschnitt

Im Auftrag der Deutschen Bank, der damaligen Eigentümerin des Hauses Kliffende, und mit Unterstützung des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Husum (heute das Amt für Ländliche Räume, ALR), wurde im Frühjahr und Sommer 1990 vom Büro Stefan Knabe + Peter Knabe, Beratende Ingenieure GmbH, Wedel bei Hamburg, eine Maßnahme zur Sicherung dieses Gebäudes entwickelt, welche dann noch im Herbst desselben Jahres in der Form eines geotextilen Bauwerkes zur Ausführung gelangte, das nachfolgend beschrieben wird.

2 Ziel der Maßnahme

Die besonderen geologischen Verhältnisse im Unterwasserbereich und im Strandbereich von Kliffende sind Ursache für die extremen Strandverluste bei Sturmflut in diesem Küstenabschnitt. Als Zusatzmaßnahme der seit Jahren durchgeführten Sandvorspülungen wurde als zweite Verteidigungslinie eine 165 m breite, mit Geotextilien bewehrte künstliche Düne erstellt. Eine Ergänzung der Strand- und Sandverluste durch Sandvorspülungen ist generell auch weiterhin zum Schutze der sandigen Küste Sylts durch das Land Schleswig-Holstein vorgesehen. Aufgabe der künstlichen Düne ist es, ein weiteres Abbrechen des Kliffs zu verhindern und vor dem Haus Kliffende als zweite Verteidigungslinie zu dienen, wenn das Sanddepot aus den Vorspülungen durch hydrodynamische Belastungen wieder aufgezehrt worden ist.



Abb. 2 Einbau der Sandpolster

3 Untersuchung von Maßnahmen zum Objektschutz

Weil generell mit weiteren Sturmfluten im kommenden Winterhalbjahr 1990/91 gerechnet werden mußte, war es erforderlich, eine genehmigungsreife Lösung für eine Baumaßnahme vor dem Haus Kliffende innerhalb kürzester Zeit zu erarbeiten. Unterschiedliche Varianten für ein Objektschutz-Bauwerk wurden untersucht und mit dem Auftraggeber und den genehmigenden Behörden diskutiert.

Unterschiedliche Konstruktionen wurden im Ingenieurbüro Knabe entwickelt und unterschiedliche Bauwerksquerschnitte, welche sich aus starren, teilflexiblen und flexiblen Baustoffen zusammensetzen, wurden dabei untersucht [1]. Da das Haus Kliffende unmittelbar am Weststrand der Insel Sylt in einem Naturschutzgebiet der Zone 1 liegt, signalisierten die Genehmigungsbehörden dem Bauherren schon im Zuge der Vorplanungen, daß massive Bauweisen, z.B. in Form eines Steindeckwerkes, einer Ufermauer oder eines Schutzwalles aus Betonformsteinen, aufgrund der Lage im Naturschutzgebiet nicht genehmigungsfähig sein können. Starre Bauwerke wurden in diesem Zusammenhang kritisch betrachtet. Auf dieser Grundlage wurde im Hause des genannten Ingenieurbüros das neuartige System der geotextilen Sandpolster entwickelt.



Abb. 3 Objektschutzbauwerk mit Sand abgedeckt und bepflanzt

4 Anmerkung zur Berechnung der Standsicherheit des Bauwerks

Die beschriebene Maßnahme aus geotextilen Sandpolstern zum Schutzes des Hauses Kliffende stellt ein Pilot-Projekt dar, für das es unter ähnlichen hydraulischen Belastungen keine vergleichbaren Bauwerke gab. Aus diesem Grunde sind auch die rechnerischen Grundlagen zur Bemessung des Bauwerkes nicht alltäglich. Der Bauherr beauftragte deshalb die Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, mit den Standsicherheitsberechnungen. Die sich aus den Berechnungen ergebenden konstruktiven Forderungen wurden vom Ingenieurbüro Knabe umgesetzt.

Vorgehensweise bei den Berechnungen

Es wurde zugrundegelegt, daß auflaufende Wellen mit von außen einwirkenden Wasserüberdruckbelastungen von geringem Einfluss auf Standsicherheit und Verformbarkeit des Bauwerkes sein würden. Entscheidend für die Standsicherheit und die möglichen Verformungen des Bauwerkes sollten ablaufende Wellen mit von innen wirkenden Porenwasserdrücken sein, die sich zügig zur Bauwerksfront entspannen sollten. Demnach waren Sanddurchlässigkeit, Gewebedurchlässigkeit und Dränwirkung der Vliesstoffe aufeinander abzustimmen.

Die geplanten geotextilen Sandpolster verhindern aufgrund ihrer Zugfestigkeit, daß der von ihnen umschlossene Sand unter der Wirkung der Wellen und des ablaufenden Wassers fortgespült wird. Voraussetzung dafür ist, daß die Geotextilien tief genug in den von Wellen unbeeinflussten Untergrund einbinden. Auf diese Weise können ausreichende Reibungskräfte mobilisiert werden, die Zugspannungen in den Geotextilien in den Bereichen entstehen lassen, in welchen üblicherweise der Sand unter der Einwirkung der Wellen verflüssigt wird und fortfließen will.



Abb. 4 Nach Sturmflut und Abtrag des Sanddepots freigespülte Sandpolster

Der Verflüssigungseffekt unter Wellenbelastung wurde mit Hilfe von Ansätzen untersucht, welche in der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe und in Delft-Geotechnics, Niederlande entwickelt worden sind [2]. Auf der Grundlage umfangreicher Berechnungsvorgänge konnten die Bauwerksabmessungen optimiert und festgelegt werden sowie eine Aussage über eine ausreichende Standsicherheit gemacht werden.

Häfen & Wasserstraßen

Küstenschutz

5 Das System Geotextiler Sandpolster

Die für den Böschungsverbau in Form einer Polsterwand vorgesehenen Geotextilien übernehmen die Aufgabe, als »Umhüllung« der Sandpolster diese in der vorgegebenen Einbauposition zu halten und zu verankern. Abb. 1 zeigt einen Regelquerschnitt der Maßnahme. Hohe Sturmflutwasserstände mit Höhen von ca. + 4,5 mNN in Verbindung mit Wellenhöhen von $H_s = 2,5$ m und Wellenperioden von $T_s = 5,5$ s üben besondere Kräfte auf die Außenzonen des geotextilen Gesamtbauwerkes an diesem exponierten Standort aus. Zudem mußte davon ausgegangen werden, daß nach Abtrag der Sandvorspülungen die Materialien teilweise an der Oberfläche und nicht wie bei klassischen Geokunststoffanwendungen im Erdreich liegen würden. Dieser Fall ist eingetreten. Das Bauwerk hat Sturmfluten standgehalten.

Aus diesen Randbedingungen ergaben sich folgende Vorgaben für die Geokunststoffkomponenten:

- hohe Zugfestigkeiten bei möglichst geringer Dehnung,
- gute Filtereigenschaften,
- UV-Stabilität,
- Abriebfestigkeit.

6 Zur Verlegung

Im Schutz der zuvor aufgetragenen 5 m hohen Sandvorspülung wurde am Klifffuß eine Baugrube ausgehoben und darin anschließend Geotextilbahnen verlegt. Die eigens für diesen Zweck gefertigten Bahnen wurden jeweils – in gekennzeichneten Bereichen – um 1,5 m überlappt, mit dem anstehenden Sand aus dem Depot verfüllt, verdichtet und anschließend faltenfrei zurückgeschlagen.

Wegen der besonders starken Beanspruchung sind die dem Meer zuwandten Fronten der »Sandkissen« mit einem hochdehnbaren und abriebfesten Vliesstoff verstärkt worden. Dieser Vliesstoff dient auch dem Schutz des Polypropylen-Gewebes vor UV-Strahlung.

Diese Umhüllungen bestehen zwar aus einer Summe von Geotextilbahnen gleicher Breite, die Länge der einzelnen Rollen war jedoch je nach Einbauhöhe unterschiedlich, da die Sandpolster in Lagen treppenförmig angeordnet wurden. Jede mit einer laufenden Nummer versehene Rolle wurde nach einem detaillierten Verlegeplan des Ingenieurbüros Knabe platziert. 30 Meter vor der Kliffkante liegt das erste Polster 1,0 m tief unter NN. Abb. 2 zeigt die Baumaßnahme. Die erreichte Gesamthöhe des Bauwerkes beträgt 8 m bei Böschungsneigungen von 1:2 im unteren und 1:4 im oberen Querschnittsbereich.

Die dem Meer zugewandten Fronten der Sandkissen wurden durch Betonschalungselemente genau ausgebildet. Der Aushub aus der Sandvorspülung wurde wieder auf die Geotextilbahnen aufgeschüttet und sorgfältig verdichtet. Das freie Ende der Geotextilbahnen wurde zurückgeschlagen und die Betonschalung wieder entfernt. Die übereinander angeordneten Sandkissen bilden inzwischen einen stabilisierten Strandbereich.

Als Quersicherung wurden vollflächige Gewebe/Vliesstoff-Schotten eingebaut, um auch im Falle einer partiellen Beschädigung des Bauwerkes einem möglichen seitlichen Ausspülen des Sandes entgegenzuwirken. Abb. 3 zeigt die Baumaßnahme nach Abschluß der Arbeiten.

7 Schlußbetrachtung

Nachdem das Bauwerk noch rechtzeitig im Dezember 1990 endgültig fertiggestellt werden konnte und in dieser Saison keine gravierenden Sturmfluten auftraten, konnten in den Sommermonaten der beiden folgenden Jahre sogenannte biologische Begleitmaßnahmen durchgeführt werden. Bei diesen Maßnahmen handelte es sich um die Errichtung von Sandfangzäunen aus Buschwerk und Pflanzungen von Strandhafer auf der Böschungfläche oberhalb der geotextilen Sandpolster. Auf diese Weise wurde innerhalb von zwei Jahren eine ca. 2,0 m dicke Sandüberdeckung der geotextilen Sandpolster



Abb. 5 Detail der Frontausbildung nach Freilegung durch Sturmflut

	Gewebe	Vliesstoff (Terrafix® 601 S)
Rohstoff	PP	PES
Masse pro Flächeneinheit	340 g/m ²	620 g/m ²
Schichtdicke		6,6 mm
Höchstzugkraft		
längs	80 kN/M	≥ 12 kN/m
quer	80 kN/M	≥ 18 kN/m
Öffnungsweite $O_{90,w}$	0,33 mm	0,15 mm

Tabelle 1 Technische Daten des geotextilen Verbundstoffes

Aufgrund dieser Vorgaben fiel die Entscheidung zugunsten eines vernadelten Verbundmaterials aus Polypropylenbändchengewebe und einem PES-Vliesstoff. Die Kennwerte des Verbundstoffes sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Häfen & Wasserstraßen

Küstenschutz



Foto: Sylt-Picture, V. Frenzel

Abb. 6 Luftaufnahme vom Januar 2000

Interesse an dieser entwickelten Lösung zum Objektschutz im Küstenbereich zeigte, wurden im Oktober 1991 Untersuchungen dieses Bauwerkes im großmaßstäblichen Modellversuch am Großen Wellenkanal der Universitäten Hannover und Braunschweig durchgeführt.

Die hohe Stabilität des Bauwerkes aus geotextilen Sandpolstern konnte hier nachgewiesen werden. Selbst Dauerbelastungen, maximale Druckschlagbelastungen, Überströmungsversuche, Kolkversuche und Belastung der Geotextilien durch Treibgut konnten dem Bauwerk nichts anhaben.

Seit Anfang Dezember 1999 wurde die deutsche Nordseeküste von einer Reihe von Sturmfluten heimgesucht. In der Nacht vom 3. auf den 4. Dezember führte das Orkantief »Anatol« zu erheblichen Abbrüchen an der Sylter Westküste, im Januar 2000 gefolgt von den Orkantiefs »Kerstin« und »Liane«, die zu weiteren erheblichen Landverlusten führten. Anfang Februar 2000 waren im Küstenabschnitt nördlich und südlich des Hauses Kliffende mehr als 10 m Landverlust gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen.

Der extreme Rückgang der Küstenlinie in diesem Bereich führte zu Erosionen in den Bereichen der Bauwerksenden (Abb. 6), welche verbunden sind mit der Gefahr der Hinterspülung und der rückseitigen Zerstörung des geotextilen Bauwerkes. Eine Sofortmaßnahme zur Sicherung des Schutzbauwerkes ist durchgeführt worden. Über Maßnahmen der Erweiterung des »Objektschutzmaßnahme Haus Kliffende Kampen/Sylt« wird nachgedacht. Seine Bewährungsprobe hat das geotextile Schutzbauwerk allerdings nun endgültig bestanden.

Schrifttum

[1] Knabe, S.: Untersuchungen von Maßnahmen zur Sicherung des Gebäudekomplexes »Kliffende« vor der Gefahr des Zurückweichens der Küstenlinie durch Sturmfluteinflüsse, April 1990

[2] BAW Karlsruhe: Standsicherheitsnachweis Objektschutz »Kliffende« der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Juli 1990

[3] Nickels, H.; Heerten, G.: Building elements made of geosynthetics and sand resist the North Sea Surf Proceedings of the first European Geosynthetics Conference, Eurogeo 1/Maastricht/Netherlands, 30.9.–2.10.1996

Dipl.-Ing. Hans Nickels, Stefan Knabe + Peter Knabe, Beratende Ingenieure GmbH, Wedel;
Prof. Dr.-Ing. Georg Heerten, NAUE GmbH & Co. KG, Espelkamp-Fiestel, Germany

* Urheberrechte für das System »Objektschutz Haus Kliffende« liegen bei Stefan Knabe + Peter Knabe, Beratende Ingenieure GmbH, Hafenstr. 39, 22880 Wedel, Germany

erzielt, welche ganzflächig mit Strandhafer stabilisiert werden konnte.

Das Bauwerk glich einer natürlichen Düne, die nun nach den Sandvorspülungen als zweite Sicherungslinie gegen die hydrodynamischen Einflüsse der Nordsee auf das Haus Kliffende dient.

Das Bauwerk hat mehrere Bewährungsproben in Winterstürmen der Jahre 1993, 1994 und 1998 bestehen können. Im Verlauf dieser Sturmfluten wurde das geotextile Bauwerk freigespült. Schäden traten an dem Bauwerk nicht auf [3].

Nachdem nun auch die Fachwelt ihr



Geokunststoffe

Küstenschutz Offshore Wasserbau

langfristig wirksam - sichere Systemlösungen - ökologisch und ökonomisch



NAUE GmbH & Co. KG
 Gewerbestraße 2
 32339 Espelkamp-Fiestel
 Telefon 05743 41-0
 Telefax 05743 41-240
 E-Mail info@naue.com
 Internet www.naue.com

NAUE
gewinnt den Publikumspreis
„Bilder der Forschung 2010“
 initiiert durch das Magazin FOCUS und dem vfa.

Das Bild greift das Thema Geokunststoffe spielerisch auf - denn hier werden Menschen als sandgefüllte Säcke aus Geokunststoffen für den modernen Küstenschutz stilisiert dargestellt.

NAUE produziert für die moderne Bauindustrie ökonomische, ökologische und hochwirksame Geokunststofflösungen, für die Anwendungen im Wasserbau, Strassen- und Tiefbau, Deponiebau, Tunnelbau und für den Grundwasserschutz.

Erfahren Sie mehr auf www.naue.com



NAUE GmbH & Co. KG Telefon 05743 41-0
 Gewerbestraße 2 Telefax 05743 41-240
 32339 Espelkamp-Fiestel E-Mail info@naue.com
 Internet www.naue.com



NAUE GmbH & Co. KG
 Gewerbestraße 2
 32339 Espelkamp-Fiestel
 Telefon 05743 41-0
 Telefax 05743 41-240
 E-Mail info@naue.com
 Internet www.naue.com