

Beitrag zur Ingenieurgeologie Helgolands

Von P.-H. Ross

Zusammenfassung

Helgoland mußte 1952 seinen Wiederaufbau auf einem durch Bombenabwürfe und Sprengung völlig verwüsteten Untergrund beginnen. Die hierzu hilfreichen wesentlichen bodenphysikalischen Parameter der Gesteine werden im Kap. „Gesteinseigenschaften“ mitgeteilt. Die verschiedene Ausbildung der Klippenmorphologie läßt sich durch eine Kombination aus Gesteins- härte, Schichteinfallen und Tektonik erklären. Infolge einer hohen inneren Elastizität des Bunt- sandsteins führte die Großsprengung von 1947 nicht zu einer völligen Vernichtung der Insel. Bei ermittelten Scherfestigkeiten von etwa 16 500 kN/m² wäre ohne Berücksichtigung von Verwitterungseinflüssen und Tektonik der Bau von Hochhäusern unmittelbar an der Kliffkante möglich. Bei Drainage von Sickerwässern hat das Hangschuttmaterial bei Böschungswinkeln bis zu 45° stets die zu fordernde Sicherheit von $n > 1,1$.

Ingenieurgeologische Aufnahmen waren die Grundlage zur Fußsanie rung der „Lange Anna“. Die angestrebte Gesamterhaltung erfordert jedoch weitere Maßnahmen. Hierfür sind Vergleiche mit der erfolgten Sanierung der „Barbarine“ im Elbsandsteingebirge/Sachsen hilfreich.

Die Vorschläge des Leichtweiß-Institutes/Braunschweig zur Sicherung der bisher unge- schützten Nordflanke werden vorgestellt und diskutiert. Wegen seines hohen naturwissenschaftli- chen Wertes ist der natürliche Zustand dieses letzten intakten Felsabschnittes mit seinem vorgela- gerten Felswatt zu bewahren. Für den Erhalt der Gesamtheit: Felssockel, Inselkliffs und Düne ist ein umfassender Naturschutz erforderlich.

Summary

In 1952 reconstruction of Heligoland which had been completely destroyed by bombs and explosions was started. The main geophysical characteristics are given in the chapter "rock properties". The different morphology of the rock-shore can be explained by the various rock hardness and tectonics. Caused by the high inner elasticity of the sandstone, the great explosion of 1947 did not lead to an total destruction of the island. Without consideration of influence of weathering and tectonic, shear strengths of 16 500 kN/m² would allow building of tall houses directly near the cliffs. If percolating waters are drained, boulder material of slopes with angles up to 45° always have the demanded safety factor on $n > 1.1$.

Geological investigation formed the basis for the restoration of the toe of the "Lange Anna". For the preservation of the hole monolith, additional measures must be undertaken. Helpful are comparisions with the restored rock "Barbarine" in the Elbsandstone-mountains.

The recommendations of the Leichtweiß-Institute/Braunschweig to secure the presently unprotected northern flank are presented and discussed. Because of its high value to natural science, the natural state of this last intact rock site with its sublittoral regions should be saved. To secure the whole ensemble of littoral rock cliffs and the dune-island, comprehensive natural protection measures are necessary.

Inhalt

1. Einleitung	72
2. Gesteinseigenschaften	72
3. Standfestigkeit der Felsböschungen	74
4. Sanierung der „Lange Anna“	75
5. Schutz der Insel-Nordflanke?	77
6. Schriftenverzeichnis	79

1. Einleitung

Auf der Insel Helgoland verhält sich einiges anders als auf dem Festland. Während sich Bauleute Schleswig-Holsteins bzw. Norddeutschlands, also auf dem „Festland“, bei Gründungen überwiegend mit nicht oder nur wenig festen Sanden und Geschiebemergel herum-schlagen müssen, hat Helgoland als einziger Standort des Küstenraumes felsigen Untergrund, also wirklich „festes Land“ zu bieten.

Helgoland als hervorragender Seestützpunkt war schon relativ früh (1811) das Ziel vorwiegend militärisch ausgerichteter Baumaßnahmen. Als „Krönung“ entstand im 2. Weltkrieg ein weitverzweigtes System von Tunnelanlagen bzw. Kasematten, so daß die Hauptinsel praktisch völlig unterminiert war.

Nach der gewaltigen Detonation am 18. 4. 1947 stand der beginnende friedliche Wiederaufbau ab 1952 vor einem völlig verwüsteten, durch Bombenabwürfe und Sprengungen umgepflügten Baugrund, so daß die Frage aufgeworfen wurde, ob ein Wiederaufbau infolge menschlicher Zerstörungen und weiteren natürlichen Zerfalls überhaupt möglich sein würde. Hier setzten gezielte wissenschaftliche Untersuchungen ein, aus denen im folgenden für den Bereich Ingenieurgeologie einige Beispiele herausgegriffen werden.

2. Gesteinseigenschaften

Helgoland und seine Düne sind dichtbesiedelte Inseln, die den Abrasionskräften des Meeres und den Verwitterungskräften der Atmosphäre ausgesetzt sind. Neben der Erforschung des geologischen Aufbaues ist es daher unumgänglich, sich mit den Gesteinseigenschaften auseinanderzusetzen, wenn man durch gezielte Vorsorgemaßnahmen mit gesicherten Kenntnissen den Bestand erhalten will.

Generell besteht das dem Mittleren Buntsandstein zuzurechnende Gestein Helgolands aus einer festeren, unteren, mehr bräunlich gefärbten sandigeren Partie, die den Sockel an der Südwestseite der Insel bildet, und einer oberen Gesteinsgruppe, einem wein- bis ziegelroten, tonreichen Kalkmergel mit muscheligen Bruch. Wegen des Einfallens der Schichten mit ca. 18° nach Nordosten sind auf der Nordostseite der Insel im wesentlichen nur die Gesteine der oberen Serie aufgeschlossen.

Der Grundstoff des Helgoländer Kalkmergels besteht nach Versuchen (GRIPP, DÜCKER, STEINFELD, 1956, unveröff.) zu etwa 15 % aus Ton, zu etwa 30 % aus Fein- und zu etwa 50 % aus Grobschluff. Bei einem Raumgewicht von $\gamma_f = 2,3 \text{ t/m}^3$ beträgt der natürliche Wassergehalt $w_n = 6,6 - 8 \%$. Der Durchlässigkeitsbeiwert liegt bei $K \leq 10^{-12} \text{ cm/s}$, der gesunde Fels ist somit als praktisch wasserdicht anzusehen. Seine aus einachsialen Versuchen abgeleiteten Scherfestigkeiten betragen im Mittel:

$$\tau_f = 16\,450 \text{ kN/m}^2$$

Eine Frostempfindlichkeit ist durch Frostsprengung infolge Eisbildung in Spalten gegeben.

Die entsprechenden Parameter für die untere Serie lauten:

Raumgewicht:	$\gamma_f = 2,25 \text{ t/m}^3$
Porenvolumen etwa:	$n = 17,1 \% - 20 \%$
natürlicher Wassergehalt:	$w_n = 3 \% - 7 \%$

Druckfestigkeiten werden mit $q_u = 60\,000 - 80\,000 \text{ kN/m}^2$ angegeben.

Die Zugfestigkeit beider Gesteinsarten senkrecht zur Schichtung, der Zusammenhalt der

Schichtplatten, beträgt nach Untersuchungen der Fortifikation (BROHM, 1907) nur etwa $\tau_z = 5 \text{ kp/cm}^2$ (500 kN/m^2). Die Gesteine zerfielen, nachdem sie wassergesättigt 25 mal einem Frost von $-11,5^\circ \text{C}$ ausgesetzt und wieder aufgetaut waren.

Der die Hauptinsel umsäumende Kranz jüngerer mesozoischer Gesteine ist nicht direkt aufgeschlossen, sondern liegt unter Wasserbedeckung bzw. unter Dünenansanden verborgen.

Das im Bereich zwischen Insel und Düne verbreitete Röt mit seinen Gips- und evtl. Steinsalzlagen ist als relativ weiches Gestein anzusprechen und erklärt, warum die ehemalige Verbindung zwischen Insel und Düne verlorengehen mußte. Unter den Sanden der Düne werden in Bohrungen und tieferen Baugruben anstehender Unterer, Mittlerer und Oberer Muschelkalk sowie unter Ausfall des Keuper und Jura Schichtglieder der Unteren und Oberen Kreide angetroffen. Das relativ harte Gestein des Muschelkalkes hat zur Ausbildung der nur bei Springtide-Niedrigwasser an wenigen Stellen sichtbaren, schräggestellten Schichtköpfe der Klippen nördlich der Düne geführt. Die Gesteine der Kreide sind insgesamt wieder weniger widerstandsfähig. Am besten lassen sich die Gesteinsunterschiede in Luftbildern erkennen, wie die Aufnahmen in der Arbeit von E. W. GUENTHER (1969) sehr deutlich zeigen.

Da insgesamt über diese Gesteine nur sehr wenige bodenphysikalische Angaben vorliegen, wenden wir uns wieder der Hauptinsel zu.

Für das Verständnis der Verwitterungsvorgänge der Insel sind vor allem die tektonisch erworbenen Eigenschaften ihrer Gesteine von ausschlaggebender Bedeutung. Die Großtektonik Helgolands als Kippscholle eines aus dem tieferen Untergrund emporgedrungenen Salzstockes ist durch die detaillierten Untersuchungen von SCHMIDT-THOMÉ (1937) bekannt. Mit bloßem Auge an den Steilkanten zu erkennen sind das durch die hellen Katersandlagen hervorgehobene schwache Einfallen der $135\text{--}140^\circ$ streichenden Schichtung nach Nordosten sowie die zahlreichen Klüfte und Verwerfungen. Die Längsklüfte folgen der Richtung des Schichtstreichens, die Querklüfte demgemäß der Südwest-Nordostrichtung.

Feintektonisch ist das Gestein in ähnlicher Weise beansprucht; es ist durch zahlreiche Längs- und Querklüfte oder Haarrisse in zahllose Körper aufgespalten. Jede Gesteinsschicht ist somit verdeckt in etwa würfelige bis parallelepipedische Einzelkörper aufgelöst oder dazu geneigt, sich entsprechend weiter zu zerteilen, sobald der Schichtenverband sich lockert oder zerfällt. Dank einer vorzüglichen Verzahnung wird jedoch der Verband der latenten Teile sehr hartnäckig gewahrt. Das führt u. a. auch dazu, daß bedrohlich überhängende Felspartien längere Zeit an den Kliffs erhalten bleiben.

Die hauptsächlichen Faktoren einer hier besonders intensiv wirkenden Verwitterung sind der Schlagregen, die peitschende Gischt der Brandung, die wechselnde Sonnenbestrahlung mit Erwärmung und Abkühlen in der Nacht, im Winter der Frost als Spalten- und Bodenfrost sowie das Austreten von Schicht- oder Kluftwasser, welches gefrieren kann. Daneben wirkt die Salzsprengung in den zahlreichen Klüften. Kohlensäurehaltige Niederschläge tragen ebenso dazu bei, daß der bindende und verfestigende Kalk aufgelöst und aus dem Gestein ausgewaschen wird. Ja sogar dem Überschallknall von Düsenflugzeugen wird eine entsprechende Wirkung zugeschrieben. Eine große Rolle spielen die enormen Drücke der Brandung bei Sturmflut-Wetterlagen, die sich in den im Kliff entstandenen Verwitterungshohlräumen aufbauen und dabei eine Art von Sprengwirkung erzeugen.

Gesteinseigenschaften in Verbindung mit Tektonik und den Verwitterungserscheinungen haben dazu geführt, daß sich an der Südwestkante ein anderes Bild bietet als an der Nord- und Nordostkante. Das Vorherrschen kalkhaltigen widerstandsfähigen Sandsteins hat auf der Südwestseite (besonders vor den Zerstörungen des 2. Weltkrieges bzw. der Sprengung 1947) zu einer vielfältigen Felsgestaltung mit Brandungshohlkehlen, Gatts und einzelnen Felstürmen „Lange Anna“ geführt, während auf der gegenüberliegenden Inselfseite mit Vorherrschen

Helgoland, Nordostspitze (schematisch)

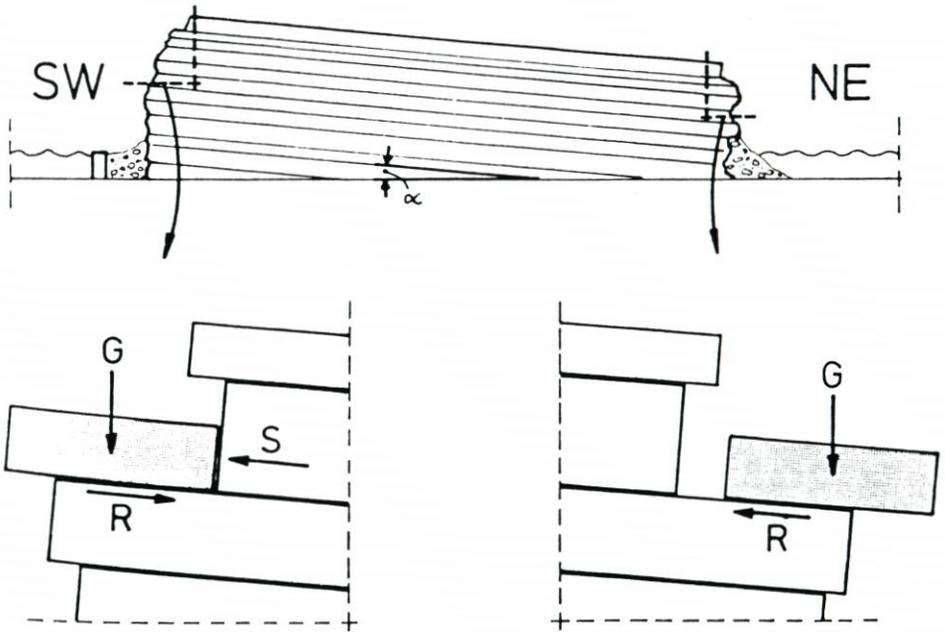


Abb. 1. Ungünstigere Statik des Schichtgefüges an der NE – gegenüber der SW-Seite Helgolands
A. Fürbörter, T.U. Braunschweig: „Zur Erhaltung der Insel Helgoland“, Braunschweig, 1979

der feinsandigen Mergelkalke und Tonmergel ein kaum gegliederter Küstenverlauf mit (durch künstlichen Vorbau geschützt) Hangschutt entstand (Abb. 1).

Ein weiteres, sehr interessantes Ergebnis war der „Großversuch“ der von den Alliierten beabsichtigten Sprengung der gesamten Insel am 18. 4. 1947 mit etwa 67 000 Tonnen Munition. Zentren der Sprengung der unterirdischen Befestigungs- und Luftschutzwerke waren Süd-, Ost- und Nordspitze: im Süden ein riesiger, tief ausgesprengter Krater mit hohem Ringwall, im Osten die gänzliche Beseitigung der Ostspitze des Oberlandes und im Norden der Auswurf eines langen Sprenggrabens. Im noch begehbaren Stollensystem konnte man die Wirkungsweise der Sprengungen auf den gesunden Fels beobachten. Dabei wurde festgestellt, wie wenig der Sprengimpuls auf den anstehenden Felsen selbst gewirkt hat. Diese Tatsache wurde darauf zurückgeführt, daß dem Gestein mit seinem verzahnten Gefügesystem eine sehr große innere Elastizität beigemessen werden muß.

3. Standfestigkeit der Felsböschungen

Die im Labor an einem spaltfreien Zylinderkörper ermittelte Scherfestigkeit (s.o.) kann bei einem großklüftigen System aus mürbem Gestein nur mit etwa 1/10 der im Labor ermittelten Festigkeit angesetzt werden, d. h. etwa $\tau_f = 1000\text{--}2000 \text{ kN/cm}^2$. Bei der Beurteilung der Standsicherheit für senkrechte Felskanten durch Ermittlung der senkrechten freien Standhöhe nach FELLENIUS ergibt sich, daß bei einer vorgefundenen Standhöhe der Felskanten zwischen 30 und 40 m nur etwa 1/4 des vorausgesetzten Scherwertes ausgenutzt wird, diese

somit theoretisch 174 m betragen könnte. Das heißt, es wäre ohne die Einflüsse der Verwitterung durchaus möglich, an der Felsoberkante noch Hochhäuser zu errichten. Dieser Faktor ist jedoch bisher nicht zu fassen; es ist bis heute nicht annähernd möglich, verlässliche Angaben über die Verwitterungsgeschwindigkeit zu machen. Hinzu kommt der Einfluß der Verwitterungshalden. Laborversuche haben ergeben, daß das natürlich verwitterte Haldenmaterial schon bei Böschungsneigungen von 50° immer standfest sein muß; Böschungen mit Neigungen von bis zu 45° haben stets die zu fordernde Sicherheit von $n > 1,1$, wobei durch geeignete Drainmaßnahmen Sickerwasseransammlungen zu vermeiden sind.

4. Sanierung der „Langen Anna“

Durch die „Verordnung zur Sicherung von Naturdenkmälern im Kreis Pinneberg“ vom 15. 10. 1969 wurde die „Lange Anna“ auf Helgoland vom Landrat des Kreises Pinneberg zum Naturdenkmal erklärt, um diesen Felsen als Wahrzeichen Helgolands zu sichern und zu erhalten. Der Felsfuß war jedoch durch Brandungseinwirkung ausgehöhlt, so daß Sanierungsmaßnahmen unumgänglich wurden.

In einem dazu angeforderten Gutachten des Geologischen Landesamtes wurden 1975 vor allem die Fragen des natürlichen Verwitterungsprozesses sowie die daraus resultierenden Möglichkeiten technischer Gegenmaßnahmen untersucht. Im folgenden wird auf die Entstehung der „Langen Anna“, ihre Felseigenschaften, die Verwitterungsformen und auf die aus ingenieurgeologischer Sicht notwendigen Maßnahmen eingegangen.

Eingangs wurde erwähnt, daß infolge der unterschiedlichen Zusammensetzung des Buntsandsteins auf der Südwestseite der Insel eine vielfältige Felsgestaltung wegen des Vorherrschens des kalkhaltigen Sandsteins entstand, auf der gegenüberliegenden Seite jedoch bei feinsandigen Mergelkalken und Tonmergeln ein kaum gegliederter Küstenverlauf. Die widerstandsfähigere untere Serie bildete Brandungshohlkehlen; daraus entstanden die typischen Gatts (Torbögen) und nach Einstürzen der Torbögen als vorläufiges Endstadium einzelstehende Felsmonolithen wie die „Lange Anna“. Der Vorläufer der Langen Anna war eine „Hengst“ genannte, etwa 50 m lange, schmale Felswand, welche durch 3 Durchbrüche auf 4 Beinen zu stehen schien, daher der Name. 1856 erfolgte der Einsturz des Hengstes. Major BROHM (1907) erwähnt, daß Stumpf und Geröll noch vorhanden sind. Das Nathurngatt, ein Torbogen zwischen dem jetzt einzel stehenden Felsen und der Insel ist am 16. 5. 1860 eingestürzt; seit dieser Zeit ist die „Lange Anna“ also Monolith.

Seit der Fertigstellung der Nordmole (1939) wird die „Lange Anna“ gegen Sturmflutbrandung aus südwestlichen bis westlichen Richtungen geschützt; ungeschützt ist sie gegen Wellenangriff aus Nordwest bis Nordost.

Die „Lange Anna“ ist etwa 56 m hoch und hat einen abgerundeten, etwa rhombischen Grundriß; ihr Fußumfang beträgt etwa 71 m. Der Mittlere Buntsandstein am zugänglichen Fuß der „Langen Anna“ wird aus einer plattigen Wechselfolge von Schluff- bis Feinsandstein und Tonsteinen aufgebaut. Die aus Feinsandstein bestehenden, härteren Bänke sind herauspräpariert. Mürbe Katersandlagen sind stärker verwittert und bilden schichtparallele Gesimse.

Die gravierendsten Schäden im Fußbereich der „Langen Anna“ waren auf der Nordseite eine etwa 14 m lange und 1,50–3,70 m hohe Brandungshohlkehle mit etwa 3 m Überhang sowie auf der Südwestseite ein 7 m breiter, maximal 8 m tiefer, sich nach innen verengender, dreieckiger Ausbruch, durch dessen Mitte eine max. 20 cm breite Kluft zieht. Sie war an der Felsaußenseite bis in etwa 6 m Höhe als offene Spalte sichtbar. Wie überall auf der Insel ist der Buntsandstein von zahllosen Klüften und Spalten durchzogen, an denen die ständige Verwit-

terung angreift und damit die Festigkeit des Felsens herabsetzt. Generell war (und ist) die „Lange Anna“ durch eine Kombination folgender Faktoren gefährdet:

durch Wellenangriff besonders bei Sturmflutbrandung, durch ihre Zerklüftung in Verbindung mit Schichtneigung und unterschiedlichem Gesteinsaufbau und durch ständig wirkende Verwitterungsvorgänge.

Es war abzusehen, daß es im Laufe der Zeit zu einer Verbindung der beiden Schwachstellen, der Brandungshohlkehle an der Wasserseite und dem tiefen Ausbruch an der Westseite kommen würde (vgl. Abb. 2).

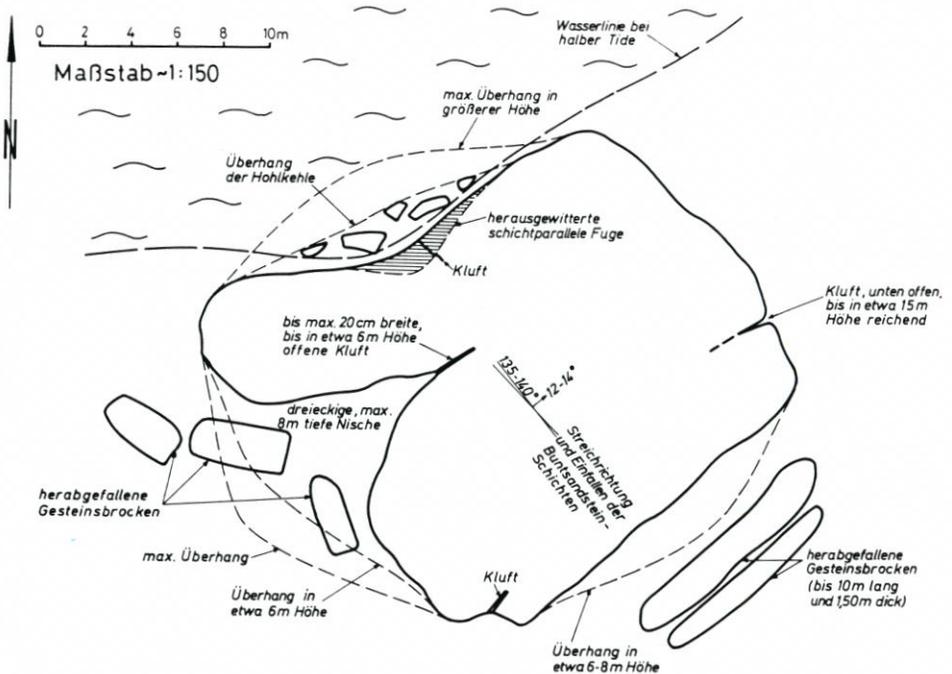


Abb. 2. Grundriß in Höhe des Felsfußes „Lange Anna“ Gutachten des Geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein (P. H. Ross, unveröff., Kiel, 1975)

Hierbei wäre zunächst ein Brandungstor (Gatt) entstanden, wobei das Gewicht der überhängenden Felsmassen auf einem immer kleiner werdenden Felspfeiler konzentriert würde. Wenn dessen Belastbarkeit überschritten ist, wäre zumindest ein großer Teil der „Langen Anna“ zerstört gewesen. Mit der 1979 abgeschlossenen Fußsanierung wurde diese Gefahr zunächst abgewendet (s. Beitrag J. SCHINDLER); die Sanierung des gesamten Felsens steht jedoch noch aus.

Durch ständig angreifende Verwitterung werden weiterhin bestehende Spalten und Klüfte erweitert. Hierbei wirken Eis, Temperaturschwankungen, Salz, Wurzelwachstum, Auswaschen der Trümmer durch Regen und Ausblasen durch Wind. Als besonderer Gefahrenpunkt hat sich eine tief herausgewitterte Katersandlage auf etwa halber Höhe des Felsens herauskristallisiert, an der eine senkrechte Kluft ansetzt, die bis fast zur Spitze reicht. An dieser Stelle ist in nicht allzuferner Zeit ein Aus- bzw. Abbruch größerer Felsmassen zu befürchten.

Als langfristiger Schutz gegen Verwitterungserscheinungen hat sich seit längerem im

Felsbau die Injektionsmethode bewährt. Bei dem vorliegenden speziellen Fall eines freistehenden Felsens muß man sich jedoch darauf beschränken, vorhandene Klüfte mit geringem Druck zu injizieren, um den Gesteinsverband durch Drucksprengung nicht noch weiter zu schwächen. Zur Auswahl des wirkungsvollsten Verfahrens sind genaue Kenntnisse über den Zustand der Felsklüfte und mögliche Wasserzirkulationswege notwendig. Daß derartige Maßnahmen erfolgreich sein können, zeigt das Beispiel des Naturdenkmales „Barbarine“, einer der „Langen Anna“ vergleichbaren, etwa 40 m hohen Felsnadel des Pfaffensteinmassivs (Elbsandsteingebirge, Sachsen), die durch eine Sanierungsmaßnahme im Jahre 1979 mittels Sandsteinverfestiger erhalten wurde. Neben einer wasserabweisenden Wirkung erreichte man mit dem Mittel eine Silikatisierung und somit eine wesentliche Verfestigung des Sandsteins. Zusätzlich verband man durch Klüfte getrennte Teilkörper durch feuerverzinkte Bauklammern miteinander. Ein großes Problem entsteht in Helgoland jedoch durch eine intensive Salztränkung des Gesteins, die naturgemäß bei der „Langen Anna“ besonders hoch ist und dem Verfahren Grenzen setzt.

Alles in allem müssen jedoch aus der Sicht eines Ingenieurgeologen weitere Schritte unternommen werden, um die „Lange Anna“ als letzten Monolith und Wahrzeichen der Insel zu sanieren und zu erhalten.

5. Schutz der Insel-Nordflanke?

Von der ursprünglich etwa 7700 m langen natürlichen Steilküste wurde im Laufe der Jahrzehnte der größte Teil durch Küstenschutz, Hafenaufbau und Neulandgewinnung weitgehend geschützt. Nur im Nordosten ist noch eine etwa 600 m lange Strecke von der „Langen Anna“ bis zur Nordmole im Naturzustand. Dieser Steilküste ist das bekannte, biologisch wertvolle Felsenwatt vorgelagert. In Anbetracht eines immer stärker werdenden Steilküstenrückganges und auch im Zusammenhang mit der Sicherung der „Langen Anna“, wurden daher in den 70er Jahren Lösungen gesucht, die den Inselrückgang in diesem Abschnitt verlangsamen bzw. den Erhalt des damaligen Zustandes auf längere Zeit sichern sollten. So hatte z. B. Ende Januar 1976 die „Lange Anna“ durch Abbruch von etwa 2000 m³ Felsgesteins „Nachwuchs“ in Form einer schlanken Felsnadel bekommen. Ursache hierfür war vermutlich ein plötzlich einsetzender strenger Frost nach vorangegangenen Regentagen während der Januar-Sturmfluten. Auf Luftbildern war die Entstehung dieser Felsnadel infolge durchgehender Längsklüfte und bereits bestehender Pfeilerbildung schon vorgezeichnet und daher absehbar.

Als Ursache für das auf der westlichen Hälfte der Nordflanke besonders heftig angreifende Abbruchgeschehen durch Wellenwirkung und erodierende Strömung ist eine Kombination aus Klüften bzw. Kluftrichtungen und Gesteins Härte anzusehen. Wie auf Abb. 3 deutlich zu erkennen, haben sich Brandungshöhlen durch Materialausbruch an sich unter verschiedenen Winkeln kreuzenden Längsklüften in der insgesamt widerstandsfähigeren unteren Serie des Mittleren Buntsandsteins gebildet. Dadurch ist eine Kombination aus Pfeilern und Hohlräumen entstanden. Durch auftreffende Brandungswellen werden dabei in den wassererfüllten Spalten und Hohlräumen enorme Sprengkräfte erzeugt, denen kein noch so harter Fels auf Dauer widerstehen kann.

Im Jahre 1979 erarbeitete das Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig ein Gutachten mit dem Auftrag, Lösungsmöglichkeiten zur Ufersicherung an der Nordflanke zu finden, die folgende Umstände berücksichtigen sollten:

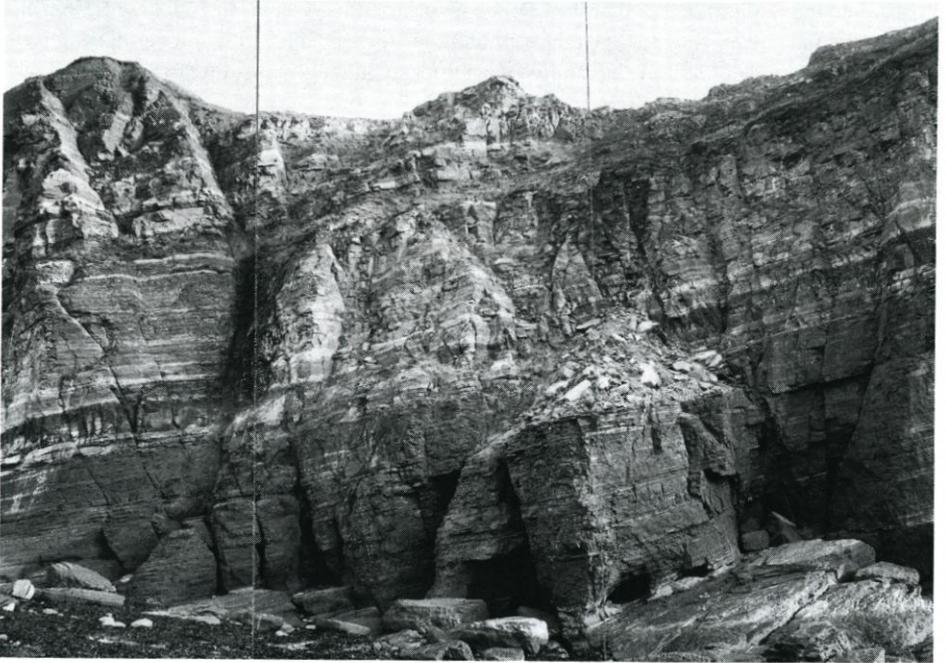


Abb. 3. Teilstück der Nordflanke Helgolands: Unterschiedliche Verwitterungsformen in Abhängigkeit von Klüftung und Gesteinhärte ca. 1974. Foto freundl. von der Gemeinde zur Verfügung gestellt

Reduzierung auf ein Minimum der Auskolkungen und Felsabstürze sowie die Berücksichtigung der Belange des Küstenschutzes, des Umweltschutzes und der Umwelterhaltung.

Vom Leichtweiß-Institut wurden mehrere Vorschläge ausgearbeitet, die aus einem uferparallelen Schutzwerk (wie auf der Südwestseite), einem Parallelwerk als Ufermauer sowie aus Parallelwerken in durchlässiger Schüttstein-Bauweise bestanden. Als Nachteil schälte sich aber heraus, daß mit diesen Lösungen – neben den enormen Kosten – der letzte Kliffabschnitt verschwinden würde, in dem der natürliche Übergang vom Steilufer über die Wasserwechselzone bis zu dem für die deutsche Nordseeküste einzigartigen Felswatt erhalten war.

Unter Berücksichtigung dieser Überlegungen wurden Vorschläge mehrerer Wellenbrecherkonstruktionen gemacht, bei denen die Energie des Seeganges durch eine feste oder geschüttete Mauer vor dem zu schützenden Objekt noch im Wasser reflektiert oder gebrochen wird, so daß – wie in diesem Falle – die natürlichen Übergänge im Wellenschatten erhalten bleiben. Abrasion und Transport gelösten Kliffmaterials wären somit weitgehend verhindert. Die Wellenbrechervorschläge wurden besonders auf die häufigsten, d. h. aus NW bis N auftretenden Windrichtungen und die damit einhergehenden stärksten Wellenangriffe ausgerichtet.

Wird jedoch der freiliegende Kliffuß vor den Ausräumarbeiten der Wellen geschützt, so werden sich im Laufe der Zeit – wie an der Südwestseite – Schuttkegel und -halden bilden, die zwar zu einer Stabilisierung des Steilufers beitragen, letztlich aber doch wieder in das natürliche Geschehen eingreifen.

In Abwägung all dieser Gesichtspunkte hat man sich nach erfolgter Fußsicherung der „Langen Anna“ – nicht zuletzt auch angesichts der enormen Kosten – zunächst für eine Beibehaltung des natürlichen Abbruchgeschehens ausgesprochen. Meer und Atmosphäre

bleiben jedoch von all' diesen Überlegungen unberührt; jährlich holen sie sich ihren unwiederbringlichen Tribut vom Inselgestein, und eines Tages wird man die Fragen des Uferschutzes sicher wieder aufgreifen. So bitter die Inselabbrüche auch sein mögen, wir sollten uns fragen, ob wir uns diesen Verlust unter anderen Wertvorstellungen nicht leisten sollten. Viele Naturwissenschaftler und heimatverbundene Mitbürger, die sich der Natur der Landschaft verantwortlich fühlen, plädieren daher seit langen Jahren für einen umfassenden, längst fälligen strengen Naturschutz der gesamten geologisch-geomorphologischen Einheit aus untermeerischem Felssockel, der Insel und der Düne. Denn Helgoland stellt in der so reliefarmen Landschaft Schleswig-Holsteins mit seinen einzigen Aufschlüssen aus dem Mesozoikum einen einmaligen Höhepunkt dar. Das Felswatt ist eine wesentliche Grundlage für die wichtigen Forschungen der Biologischen Anstalt Helgoland, die internationale Bedeutung hat, und sollte dafür unverändert bleiben.

6. Schriftenverzeichnis

- BAHR, M.: Die Veränderungen der Helgoländer Düne und des angrenzenden Seegebietes. – Jb. Hafenbautechn. Ges. 17, Berlin, 1938.
- BOIGK, H.: Ergebnisse und Probleme stratigraphischer Untersuchungen im Buntsandstein Nordwestdeutschlands. – Geol. Jb., 78: Hannover, 1961a.
- BOIGK, H.: Zur Fazies und Erdgasführung des Buntsandsteins in Nordwestdeutschland. – Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie, 14: Hamburg, 1961b.
- BROHM, A.: Helgoland in Geschichte und Sage. Seine nachweislichen Landverluste und seine Erhaltung. – 70 S., 36 Abb., 15 Ktn. Cuxhaven-Helgoland. Rauschenplat. 1907.
- GEISSE, A.: Die Erhaltung Helgolands. – Jb. geograph. Ges. Hannover: Hannover, 1928.
- GRIPP, K.: Entstehung und künftige Entwicklung der Deutschen Bucht. – Forsch. u. Fortschr. 19. Jg., Berlin, 1943.
- GRIPP, K., DÜCKER, A. u. STEINFELD, K.: Gutachten über die Gefährdung der Insel Helgoland durch Felsabstürze (unveröff.), Kiel, 1956.
- GRIPP, K.: Erdgeschichte von Schleswig-Holstein. – Neumünster, 1964.
- GRUPE, O.: Muschelkalk und Kreide und ihre Lagerungsverhältnisse im Untergrund der Düne von Helgoland. Jb. preuss. geol. Landesanst. L.: Berlin, 1929.
- GUENTHER, E. W.: Eine neu zusammengestellte Übersichtskarte der Insel Helgoland. – Schr. naturwiss. Ver. Schleswig-Holstein, 39, Kiel, 1969.
- HARTUNG, W.: Helgoland – merkwürdigste Insel der Nordsee. – Festschrift Naturforsch. Ges. Emden zum 150jährigen Bestehen; Emden, 1965.
- HEIDORN, F.: Beitrag zur Exkursion A III (Helgoland) der Deutschen Geologischen Gesellschaft anlässlich der Hauptversammlung in Hamburg 1961 [ungedruckte, vorläufige Mitt.], 1961.
- HILMER, G., SPÄTH, CH. u. WEITSCHAT, W.: Portrait einer Felseninsel. – Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, 1980.
- KEMPER, E. u. SCHMID, FR.: Die Megafauna der Kreide von Helgoland und ihre biostratigraphische Deutung. – Newsl. Stratigr., 3, Leiden, 1974.
- KRUMBEIN, W.: Zur Frage der Verwitterung der Felsmasse der Insel Helgoland. – Abh. Verh. naturwiss. Ver. Hamburg, (N. F.) 20, Hamburg, 1977.
- KRUMBEIN, W.: Verwitterung, Abtragung und Küstenschutz auf der Insel Helgoland. – Abh. Verh. naturwiss. Ver. Hamburg, (N. F.) 18/19, Hamburg, 1975.
- LÜTTIG, G., DAMS, DRESCHER, EGGELSMANN, GRUBE, JAEGER, HEIDE, HENTSCHEL, HOFRICHTER, ORTLAM, SCHMITT, STREIF u. TANGERMANN: Geoscience und Environmental Research in the Federal Republic of Germany. – Guide 26th Int. Congr., Paris, 1980.
- PRATJE, O.: Geologischer Führer für Helgoland und die umgebenden Meeresgründe. – Sammlung geologischer Führer, 23, Berlin (Bornträger), 1923.
- PRATJE, O.: Helgoland, das deutsche Felseneiland in der Nordsee. – Z. Aus der Heimat, Stuttgart-Ohringen, 1929.
- PRATJE, O.: Die Stadien in der Entwicklung der Insel Helgoland. – Z. Erdkunde, 2, Lfg. 4-6: Bonn, 1948a.

- PRATJE, O.: Das veränderte Helgoland. – N. Archiv f. Landes-/Volkskunde Niedersachsens: 249–260; Hannover, 1948b.
- PRATJE, O.: Aufbau und Werden der Insel Helgoland. – In: PACKROSZ u. RICKMERS (Hrsg.): Helgoland ruft. – Helgoland, 1952.
- PRIGGE, H. (1980): Farbiges Helgoland. – 5. Aufl. 128 S.; Christians Verl. Hamburg, 1980.
- REICH, H.: Geologische Ergebnisse der seismischen Beobachtungen der Sprengung auf Helgoland. – Geol. Jb., 64, Hannover/Celle, 1950.
- ROSS, P.-H.: Gutachten des Geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein zu Erhaltungsmaßnahmen an der „Langen Anna“ Helgoland (unveröffentlicht), Kiel, 1975.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Der tektonische Bau und die morphologische Gestaltung von Helgoland aufgrund einer Untersuchung der kleintektonischen Erscheinungsformen. – Abh. u. Verh. naturwiss. Vers. Hamburg, N. F. 1, Hamburg, 1932.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Helgoland und Hoheneggelsen-Mölmme, ein Vergleich zweier saxonischer Aufwölbungen. – Geol. Rdsch. 29, 6, Stuttgart, 1938.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Geologische Betrachtungen zu einer Tiefenlinienkarte der Umgebung von Helgoland. – Z. Geologie der Meere und Binnengewässer, 31, Berlin, 1939.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Helgoland vor und nach der Sprengung. – Z. Natur und Volk (Senckenb. naturf. Ges. Frankfurt) 81, 7, Frankfurt, 1951.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Die Sprengungen auf der Insel Helgoland. – Z. Sprengtechnik (N. F.) Z. für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen, Mannheim L. 5, 7, Mannheim, 1952.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Disharmonische Tektonik, Salztektionik. – In: BRINKMANN, R. (Hrsg.) Lehrbuch der Allgemeinen Geologie, Stuttgart (Enke), 1972.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Geologische Karte von Helgoland mit Erläuterungen. – Geol. Jb. A 62, Hannover, 1982.
- STÜHMER, H. D., SCHULZE, H., WILLKOMM, H. u. HÄUSEL, B.: Rohkupfer-Funde vor Helgoland. – OFFA-Berichte u. Mitt. Urgeschichte, Frühgeschichte u. Mittelalter-Archäologie, 35, Neumünster (Karl-Wacholtz-Verl.), 1978.
- TAVERNE, L. u. ROSS, P.-H.: Fischreste aus dem Töck (Unter-Aptien) von Helgoland. – Meyniana 23, Kiel, 1973.
- WIEBEL, K. W. M.: Die Insel Helgoland. Untersuchungen über deren Größe in Vorzeit und Gegenwart. – Herold, Hamburg, 1848.
- WURSTER, P.: Kreuzschichtung im Buntsandstein von Helgoland. – Mitt. geol. Staatsinst. Hamburg, 29, Hamburg, 1960.
- WURSTER, P.: Geologisches Porträt Helgolands. – Die Natur, 70, 7/8, Schwäbisch Hall, 1962.