

mit Seife im 8—10fachen Werte gegenüberstehen soll; ganz abgesehen von den Schäden, die die Textilien erleiden und deren Lebensdauer beträchtlich herabsetzen.

Damit sind schon die technischen Fragen angeschnitten worden. Die Karten können Hinweise für die Standorte der Industrien geben. Wäschereien benötigen weiches, eisen- und manganfreies Wasser. Färbereien, soweit sie basische Farbstoffe verwenden, ebenfalls weiches Wasser, während die Alizarinfarben Wasser mit mehr als 8° D. H. benötigen, aber frei von Gipshärte. Textilfabriken können ebenfalls nur weiches, mineralstoffarmes und farbloses Wasser gebrauchen, aber die Plüschfabrikation hat gerade hartes Wasser nötig. Das weiche, farblose Wasser für die Papierfabriken muß vor allem frei von Manganchlorit sein, welches das Vergilben des Papiers beschleunigt. Das weiche Wasser für Gerbereien enthält vor allem wenig Calciumkarbonat und wenig Chlor. Brauereien bevorzugen für die Mälzerei weiches Wasser, der Charakter des Bieres wird vor allem durch den pH-Wert bestimmt. Daneben brauchen Biere von Pilsener Art weiches, karbonatarmses Wasser, mit Rückstand 51 mg/l, Cl. 5 mg/l, Ges. H. 1,6° D. H., Karb. H. 1,3. Biere Münchener Art verwenden stets Wasser mit Rückstand 280 mg/l, Cl. 2 mg/l, Ges. H. 14,8, Karb. H. 14,2. Wasser mit den höchsten Werten werden bei Dortmunder Bieren verwendet, die außerdem noch einen Überschuß von Gips im Wasser benötigen. — Bei Zement- und Mörtelfabriken darf das Wasser nicht sauer sein, keinen Sulfatgehalt und keine aggressive Kohlensäure aufweisen. Schließlich seien noch einige Wasserzusammensetzungen erwähnt, die die Landwirtschaft benötigt. Molkereien brauchen völlig keimfreies Wasser ohne Kalk- und

Magnesiumgehalt und frei von irgendwelchen Gasen. Für Viehtränken, vor allem in der Pferdezucht, wird härteres Wasser mit mehr als 14° D. H. als günstig angesehen. Für Berieselungszwecke muß das Wasser wieder je nach dem Boden bestimmte Eigenschaften haben, und wie katastrophal sich die Verwendung ungeeigneten Wassers auswirken kann, haben Erfahrungen in Brasilien gezeigt.

Diese Reihen von bestimmten Anforderungen, die die Praxis an die Eigenschaften des Wassers stellt, könnten noch in beliebiger Weise ergänzt werden. Erwähnt sei nur noch der Bedarf der Eisenbahn als des wichtigsten Verkehrsmittels. Lokomotiven benötigen für 10 km Fahrt etwa 1,5 m<sup>3</sup> Kesselwasser, das völlig gereinigt sein und einen Rückstand von weniger als 200 mg/l ergeben muß. In Göttingen mit seinem sehr harten Wasser der Wasserversorgung (25—35° D. H.) wird daher das Wasser für den Fahrbetrieb aus Brunnen im Buntsandsteingebiet genommen.

Aus diesen kurzen Ausführungen dürfte bereits zur Genüge folgen, daß es zweckmäßig ist, die Ergebnisse dieser Karten der Wassereigenschaften bei Raumordnungsplänen zu berücksichtigen, um eine bestmögliche und wirtschaftliche Verwendung des Rohstoffes Wasser zu erreichen. Bei Trink- und Brauchwasserversorgungen können evtl. die Wässer so gemischt werden, daß sie den gestellten Anforderungen genügen, ohne daß zu kostspielige Aufbereitungsanlagen nötig werden. Wenn man bedenkt, daß der Verbrauch von Wasser früher zu 2½ Milliarden m<sup>3</sup> geschätzt wurde, so ist das Wertvolle dieses Rohstoffes ersichtlich und die zweckmäßige Verwendung gerade infolge Schrumpfung unseres Volksvermögens dringend notwendig.

## DIE STADIEN IN DER ENTWICKLUNG DER INSEL HELGOLAND

44. Beitrag zur Geologie der Meere<sup>1)</sup>.

O. Pratje

Mit 5 Abbildungen

Der Ablauf der Entwicklung einer Landschaft hängt von den Kräften ab, die darauf einwirken. Gleichbleibende Kräfte bewirken eine stetige Entwicklung, das Fortbleiben von bisher

wirksamen Kräften oder das neue Auftreten von einflußreichen Kräften bedeuten Stufen in der Entwicklung. Dabei ist es durchaus möglich, daß die Stufen vom Menschen gewollt werden, indem er planmäßig Kräfte abwehrt oder neue zur Entfaltung bringt und dann mit Spannung beobachtet, ob seine Erwartungen erfüllt werden

<sup>1)</sup> 43. Beitrag: Deutsche Hydrographische Zeitschrift. 1948. 4. 2.

und die Stufe in der Entwicklung sich so ausbildet, wie er es sich gedacht hat. An der Entwicklung Helgolands läßt sich schön zeigen, wie Zeiten gleichmäßiger Entwicklung, die zu einem Gleichgewicht zwischen den Kräften und der Landschaft zu führen scheinen, von Zeiten einer sprunghaften Entwicklung unterbrochen werden, die das Gleichgewicht in einer anderen Richtung suchen und daher Schnitte in der Entwicklung darstellen. Dabei sind die letzten beiden Abschnitte vom Menschen gewollt.

und an der Ostseite allein in Erscheinung tritt. Eingelagerte gelbliche bis grünliche Bänke machen das Einfallen der Schichten besonders sinnfällig. Die von der Hauptinsel durch eine natürliche Fahrrinne getrennte „Düne“ liegt auf einem Sockel aus Muschelkalk und Kreideschichten. Die Größe des gesamten Felssockels beträgt im Bereich der 10-m-Tiefenlinie rund 18 km<sup>2</sup>, die heutige Felseninsel, das „Oberland“, war vor der Sprengung rd. 0,42 km<sup>2</sup> und ist heute schätzungsweise noch 0,35 km<sup>2</sup> groß.

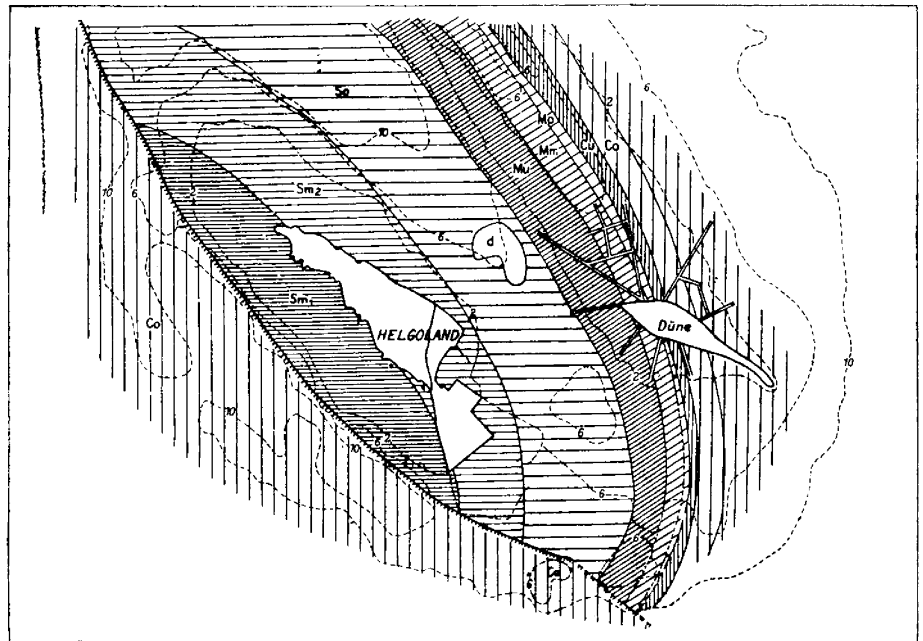


Abb. 1. Geologische Karte der Umgebung von Helgoland

Helgoland stellt einen Salzhorst dar, das heißt das Zechsteinsalz ist infolge kräftigen Druckes nach oben ausgewichen und hat eine Scholle der darüber liegenden Schichten mit hochgenommen. Der Einfluß des Salzes wird von anderer Seite noch nicht als erwiesen erachtet, wohl weil eine neuere Tiefbohrung auf Helgoland 714 m Buntsandstein erbracht hat, doch darunter folgt der Zechstein, der bei 3000 m noch nicht durchteuft war. Auf alle Fälle aber entspricht das tektonische Bild an der Oberfläche völlig dem eines Salzhorstes, so daß meiner Ansicht nach diese Deutung die meiste Wahrscheinlichkeit für sich hat. Die hochgehobene Scholle ist bei der Bewegung schief gestellt worden, so daß nach der tertiären Einebnung die Schichtenfolge vom mittleren Buntsandstein bis zur oberen Kreide an der Oberfläche ausstreicht, wobei die Juraschichten fehlen (Abb. 1). Die Felseninsel besteht aus mittlerem Buntsandstein, und zwar aus einer unteren, braunroten, sandigen Abteilung, welche die untere Hälfte der Westseite ausmacht, und einer mehr mergeligen, feiner körnigen, purpurnen bis violetten oberen Abteilung, die darauf liegt

Die Entwicklungsgeschichte der heutigen Insel Helgoland beginnt erst in der Nacheiszeit. Als die Gletscher der Saaleeiszeit, die von Skandinavien bis England hinüberreichten, sich zurückzogen, lag die südliche Nordsee trocken. Die Überflutung begann erst vor etwa 8000 Jahren wieder, indem entweder das Land sich senkte oder der Meeresspiegel anstieg oder beides Hand in Hand ging. Die Ursache soll hier in diesem Zusammenhang nicht untersucht werden; hier genügt die Feststellung, daß das Meer vordrang und Helgoland erreichte. Wir haben heute noch einen gewissen Anhalt für das damalige Relief des Nordseebodens in den Tiefenlinien. Als Grenze für die südliche Nordsee kann man die 60 m Tiefenlinie annehmen, die gleichzeitig auch die Nordgrenze der Doggerbank und der Jütland-Bank ist. Hier dürfte sich auch längere Zeit der Ufersaum befunden haben. Bei der Überflutung drang das Wasser zunächst zwischen den beiden Bänken vor sowie zwischen der Doggerbank und England und überflutete das Gebiet südlich der Doggerbank, die selber noch längere Zeit Insel blieb. Einen spitzen

Keil schickte das Meer in Richtung auf die Elbmündung vor, und als es um 30 Meter gestiegen war, d. h. daß es die 30 m Tiefenlinie erreicht hatte, stand es bereits unmittelbar vor Helgoland. Der Felssockel von Helgoland war, wie bereits erwähnt, während der Tertiärzeit vollkommen eingeebnet worden, die ebene Fläche des Oberlandes war ein Rest dieser Einebnung. Später ist der Felspfropfen nochmals über seine Umgebung emporgehoben worden und dabei wurde die Felstafel erneut im gleichen Sinne wie früher etwas nach NO geneigt, so daß wir an der Westseite der Steilküste fast 60 m Höhe haben und an der Ostkante nur 35 m. Das Gebiet

Erst die 13 m Tiefenlinie (Abb. 3) zeigt in der Gegend des Steingrundes und östlich davon zwei Unterbrechungen, und damit ist Helgoland zur Insel geworden und ihr erstes Entwicklungsstadium hat begonnen.

Man kann die heutigen Tiefenlinien gut als Anhalt dafür nehmen, welche Teile des Nordseebodens zuerst überflutet wurden, wenn man sich dabei klarmacht, daß das ursprüngliche Relief natürlich nicht mehr voll erhalten ist. Die Transgression und die Sandwanderung am Meeresboden haben die vorher wohl lebhafteren Formen teilweise eingeebnet. Die Senken werden im allgemeinen wohl flacher geworden sein,

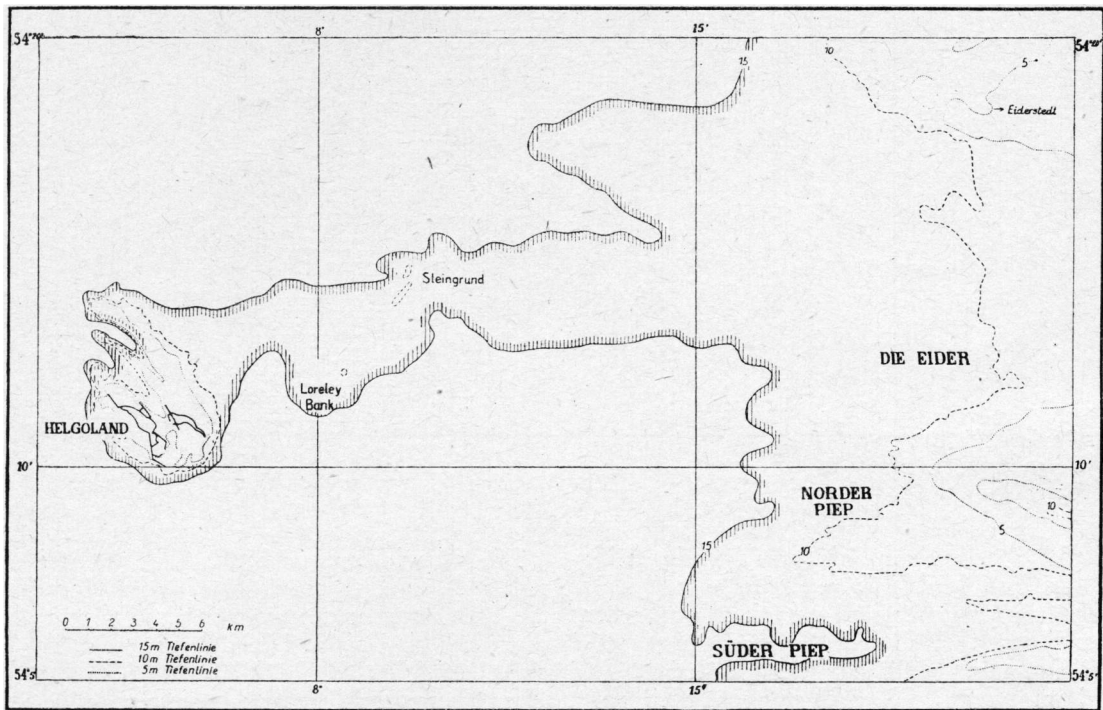


Abb. 2. Helgoland als Halbinsel Schleswig-Holsteins (15 m-Tiefenlinie)

von Helgoland bestand damals aus einem verhältnismäßig großen, leicht geneigten, zweiteiligen Felsplateau, das die ganze Serie von Sandstein und Kalkschichten sowie Tonen und Gipsen vom Buntsandstein bis zur oberen Kreide umfaßt. Die Hänge dürften, wenigstens teilweise, mit diluvialen Material verkleidet gewesen sein. Das steigende Wasser vernichtete zunächst einmal im Westen diesen Schutzmantel und legte den Felsen frei, der westlich der großen Verwerfung aus Kreideschichten bestand. Im Osten blieb noch längere Zeit die Verbindung mit dem Festlande, mit Eiderstedt, gewahrt. Die 15 m Tiefenlinie verbindet Helgoland noch als Vorgebirge mit der holsteinischen Küste (Abb. 2).

soweit sie nicht ganz zugeschüttet wurden. Andererseits können unter Umständen in dem lockeren Material durch Strömungen neue flache Rinnen entstanden sein.

Mit diesen Einschränkungen wollen die beigefügten Karten verstanden sein. Auf Einzelheiten in der Linienführung wird daher auch kein Gewicht gelegt, wie auch Abstand davon genommen wurde, das übrige Relief zu rekonstruieren. Die Art und Weise des Inselwerdens Helgolands ist aber daraus zu entnehmen, ebenso die annähernde Größe der Insel während der einzelnen Phasen des Senkungsvorganges.

Das Bild dieser Insel haben wir uns etwa in folgender Weise zu denken: Den Hauptteil bil-

dete das Felsplateau, das im Westen eine Kreidesteilküste zeigte und in der Mitte im Bereich der Rötschichten — das ist die heutige Rinne zwischen Insel und Düne — durch einen Talzug in zwei Teile geteilt war. In diesem Tale hatte sich bereits in der letzten Interglazialzeit ein Moor gebildet. Im Osten schloß sich noch ein größeres diluviales Vorland an, von dem weitere Diluvialinseln zum Festland hinüberführten (Abb. 3). Das steigende Meer schnitt durch seine Brandung in verschiedenen Höhenlagen Terrassen in den Inselsockel. Die Kreideschichten im Westen wurden nach und nach zerstört, bis jenseits der Verwerfung der Buntsandstein erreicht wurde

In dieser Zeit wirkten auf die Insel einmal die bereits früher in der Landschaft tätigen Kräfte wie Verwitterung und Erosion ein. Neu war das steigende Wasser, das auch ohne die Brandungsarbeit immer neue Gebiete der Insel in seinen Wirkungsbereich zog und dadurch eine verhältnismäßig rasche Verkleinerung der Insel bewirkte. Das Steigen scheint mehr oder minder ruckweise vor sich gegangen zu sein. Untergetauchte Terrassenflächen scheinen darauf hinzudeuten.

Schließlich hörte das Steigen des Wassers ganz auf. Das Meer griff den Felsen praktisch immer auf der gleichen Ebene an und bewirkte das

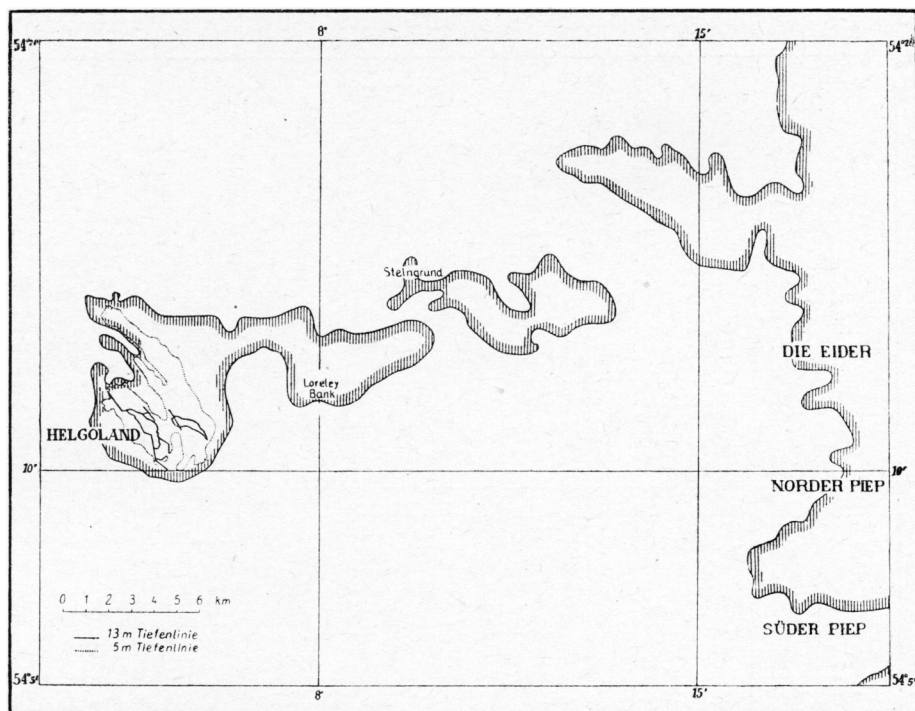


Abb. 3. Helgoland und die 13 m-Tiefenlinie.

und nun eine etwas widerstandsfähigere Steilküste entstand. Das Meer drang außerdem weiter in das Tal ein, das den Buntsandstein von den jüngeren Schichten trennte, ohne aber die Verbindung zwischen Düne und Hauptinsel ganz zu unterbrechen. Das flache Vorland im Osten wurde zunächst durch die Abtrennung einer größeren Insel mit dem Bereich der heutigen Loreley-Bank (Abb. 4, 12 m Tiefenlinie) erheblich verkleinert, und schließlich wurde der Rest auch noch überflutet, so daß nur der eigentliche Felssockel als Insel übrig blieb (Abb. 2, 10 m Tiefenlinie <sup>2)</sup>).

<sup>2)</sup> Dieser Überflutungsvorgang muß sich verhältnismäßig rasch abgespielt haben, denn die 15 m Tiefenlinie, ja auch die 14 m Linie verbinden Helgoland noch mit dem Festland, während die 10 m Linie schon keine Inseln, abgesehen von geringen Flächen auf dem Steingrund und der Loreley-Bank, auf dem ehemaligen Rücken kennt.

zweite Stadium der Insel: Die Steilküste wurde von allen Seiten immer weiter zurückverlegt, und eine breite Brandungsterrasse wurde geschaffen, die gelegentlich bei ganz niedrigem Wasserstande weitgehend trocken fällt. Zwischen Düne und Hauptinsel drang das Meer in dem alten Talzug weiter vor und schuf den Nordhafen und den Südhafen, die zunächst noch durch den „Wall“, einen Sand- und Geröllrücken, getrennt waren, bis nach seiner Unterbrechung am 1. 1. 1720 die heutige durchgehende Rinne entstand. Die Zurückverlegung der Steilküste erfolgte nicht gleichmäßig schnell ringsherum, sondern sie war von der Richtung und Häufigkeit der Stürme und von der Widerstandsfähigkeit der Gesteine abhängig, die durch die Art des Gesteins und durch die Häufigkeit der Klüfte bedingt ist. Die Hauptlast des Angriffes hatte die Westseite zu tragen, wo in erster Linie die

Zerrüttungszonen des tonig-sandigen Gesteins ausgeräumt und dadurch Nischen zwischen festen Felskulissen geschaffen wurden. Diese Felskulissen wurden einerseits von vorne her unterhöhlt, indem Brandungshohlkehlen eingeschnitten wurden, die das darüber frei hängende Gestein abstürzen ließen. Andererseits wurden sie von der Seite her ausgehöhlt und zu Brandungstoren umgeformt, deren Höhlungen sich nach oben hin vergrößern konnten, bis schließlich die Brücke einstürzte und unter Umständen der vordere Pfeiler dann als Einzelfelsen vor der zurückweichenden Felswand stehen blieb. Die Ostseite hatte stets einen geraden Verlauf, obwohl auch

tonig-schiefrigen des sogenannten Kreidetöcks (Unter-Apt) waren weniger widerstandsfähig als die reinen Kalkfelsen, und so dürfte, wie es die vertiefte Rinne des Skittgatts auf den Dünenklippen heute noch zeigt, die Zerstörung des Felsens in diesen beiden Zonen zuerst vonstatten gegangen sein. Aber auch die weißen Kreidekalke waren weniger widerstandsfähig als der Buntsandstein der Hauptinsel, so daß die Brandung am weißen Felsen leichteres Spiel hatte als am roten. Hinzu kam, daß der Mensch die Natur bei der Zerstörung unterstützte, er baute die Kalke ab und verschiffte sie zum Festland. 1711 war es den vereinten Anstrengungen gelungen

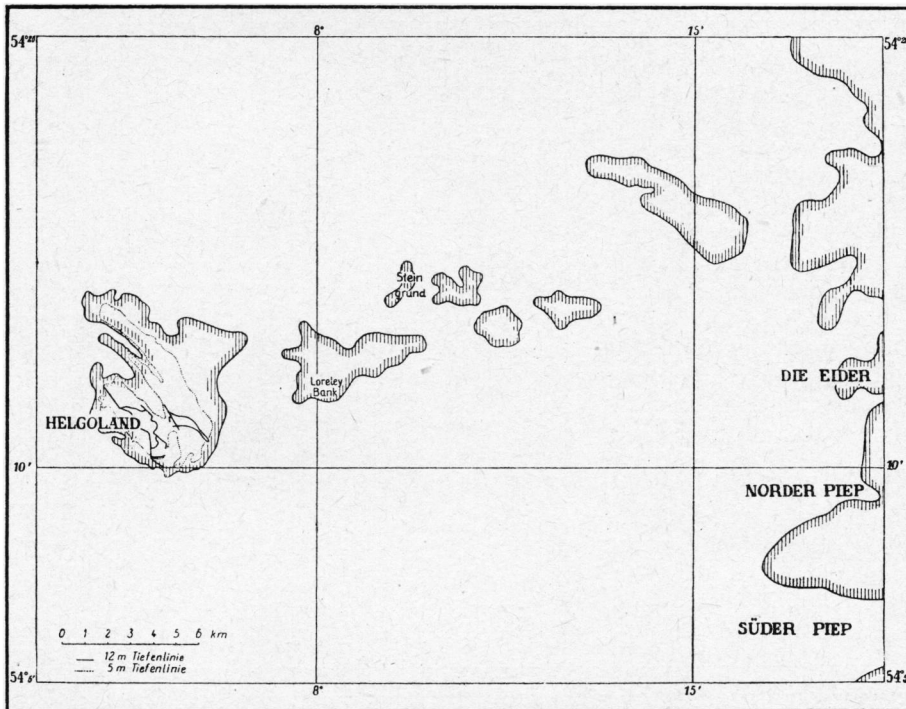


Abb. 4. Gebiete oberhalb der 12 m-Tiefenlinie

hier zahlreiche Schwächezonen im Gestein vorhanden sind. Aber einmal sind die dazwischen liegenden Partien stärker zerklüftet als auf der Westseite, so daß die Unterschiede nicht ganz so groß sind, zweitens ist das Gesteinsmaterial in seiner kalkig-mergeligen Natur an sich fester und drittens ist diese Küste nicht so frontal der Brandung ausgesetzt. Die Oststürme sind seltener, und ihre Kraft wird auch durch die Dünenklippen zum Teil bereits gebrochen und abgelenkt, so daß die Wellen mehr vorbeistreichen als senkrecht auflaufen. Die Folge war eine schöne durchlaufende Brandungshohlkehle an der ganzen Ostseite.

Der „weiße Felsen“ auf der Düne war im Gegensatz zum „roten Felsen“ der Hauptinsel nicht so einheitlich im Gestein, denn sowohl die Gipse des mittleren Muschelkalkes als auch die

den Felsen zu vernichten, und da anschließend 1720 der Geröllwall zum Unterland der Hauptinsel unterbrochen wurde, war nunmehr nur noch eine Düneninsel übrig geblieben. Es muß hier ein gewisses Gleichgewicht zwischen den Kräften des Meeres und der Insel bestehen, denn die Düneninsel hat in den Zeiten, in denen sie noch frei beweglich war, wohl ihre Lage den Winden angepaßt, ist aber in ihrer Gesamtmasse erhalten geblieben.

In diesem zweiten Stadium der Insel wirkten die Verwitterung und die Erosion weiter, aber der von ihnen gelieferte Schutt wurde laufend von der Brandung aufgearbeitet und fortgeführt, so daß er für die Insel verloren ging. Die Brandung schuf in einem ziemlich gleichbleibenden Niveau eine Terrasse, und zum ersten Male schaltete sich der Mensch ein, indem er unbe-

absichtigt, also fahrlässig, die Kräfte des Meeres unterstützt, da er die Kalkfelsen abbaute.

Erst am Ende des vorigen Jahrhunderts begann der Mensch bewußt, sich der Wirkung der Brandung entgegenzustellen. Er wollte ihre Wirkung zumindest abschwächen, um dadurch eine Verlangsamung des Küstenrückganges und damit der Verkleinerung der Insel zu erreichen. Er zog zunächst vor den wichtigsten Schwächezonen, vor besonders tiefen Nischen, Schutzmauern, welche die Wucht der Brandung aufnahmen und von den gefährdeten Stellen des Felsens fernhielten. Damit begann das dritte Stadium der Inselentwicklung. Der Verwitterungsschutt wurde ebenso wie der Felsen der Brandung entzogen, blieb also in Form von Schutthalden an der Steilküste hinter den Mauern liegen und schützte so nach und nach auch den Felsen gegen die Verwitterung. Es zeigte sich jedoch bald, daß eine derartige Plombierung der Nischen nicht ausreichte, da die dazwischen stehenden und als Halt dienenden Kulissen weiter abgebaut und dadurch die Mauern gefährdet wurden. So baute man schließlich mit größeren Unterbrechungen eine durchgehende Schutzmauer etwa 50 m vor dem Steilufer und ließ nur einen Felsen außerhalb: Hoyshorn. Beim besonders widerstandsfähigen Lummenfelsen führte man die Mauer an die Felskulisse heran und beschränkte sich hier auf die alten Schutzmauern vor den Nischen, die sich bewährt hatten. Weiter nördlich führt man sie wieder weiter und als Mole noch rd. 1000 m über die Nordspitze des Felsblockes nach Norden hinaus (Abb. 5). So war praktisch die gesamte Westseite mit ihrer durch die Brandung stark aufgelösten Steilkante der Kraft der Wellen entzogen, und überall konnten sich Schutthalden anhäufen, die gelegentlich Brandungstore verschlossen und schließlich so weit anwachsen konnten, daß sie den Raum hinter der Schutzmauer ganz ausfüllten.

An der Ostseite, die, wie wir oben bereits erwähnten, etwas weniger gefährdet war, schützte man sich auf andere Weise. Man führte die Westmauer nicht um die Nordspitze herum, sondern ersetzte sie durch ein durchlässiges Gerüst aus eisernen Trägern, das im Schutze der Nordmole ausreichte, um dahinter Sand und Geröll sich ansammeln zu lassen. In der südlichen Hälfte der Ostseite wurde dagegen Neuland geschaffen, das gleichzeitig die Brandung von der Steilküste abdrängte. Man rammte in etwa 200 bis 300 Meter Entfernung vom Steilufer eine Spundwand in die Brandungsterrasse und füllte den Raum zwischen Insel und Wand mit Sand auf. So blieben auch hier die sich bildenden Schutthalden erhalten, und auf der ganzen Erstreckung ist die früher schön ausgebildete Brandungshohlkehle jetzt verdeckt. Im Süden der Insel liegt

das natürliche Unterland mit dem neuen Hafengelände, und so ist der rote Felsen ringsum der unmittelbaren Brandungseinwirkung entzogen.

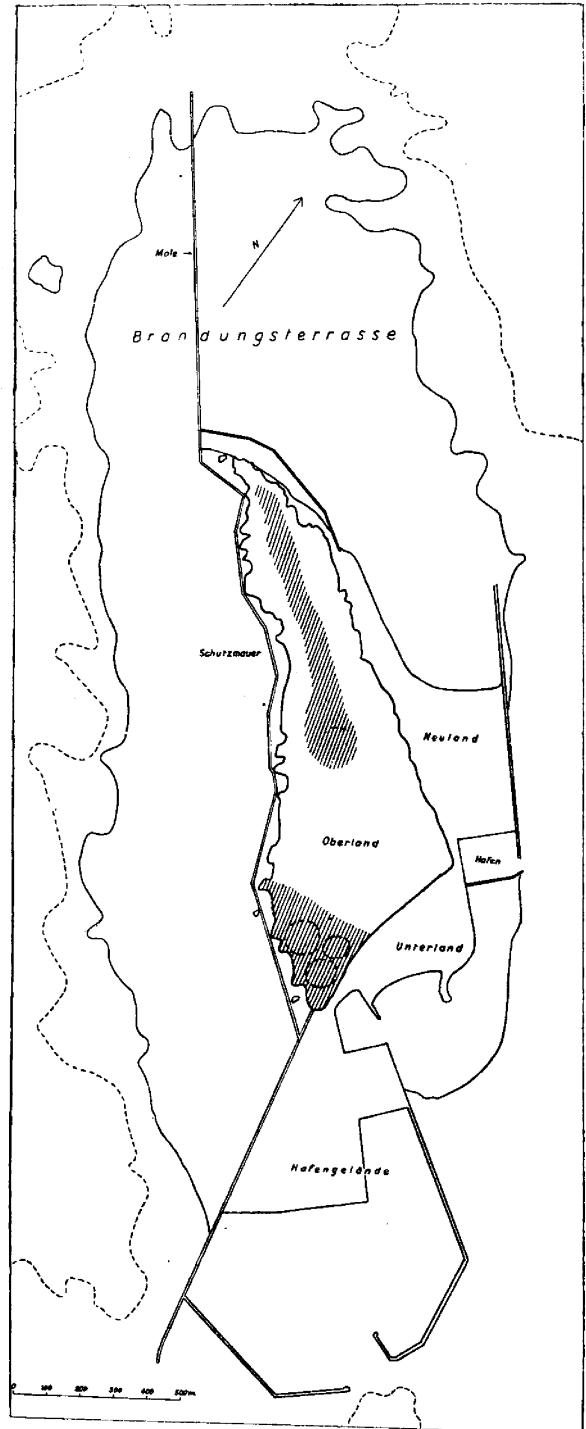


Abb. 5. Die Uferbefestigung Helgolands  
Schraffiert: Gebiet stärkster Umgestaltung durch die Sprengung von 1947

Die Düne hat man in der gleichen Zeit durch Bühnen festzulegen und zur erhöhten Sandanhäufung zu veranlassen gesucht. In neuerer Zeit sind Spundwände, Aufschüttungen und Hafengebäuden hinzugekommen, die auch hier ein Bollwerk gegen die Brandung schufen und die Fläche um ein Vielfaches vergrößerten.

Das Charakteristische im Kräftehaushalt dieses Entwicklungsstadiums ist das bewußte Eingreifen des Menschen, dem es gelingt, die Brandung vom Felsen fernzuhalten, indem er ihr besonders widerstandsfähige Hindernisse in den Weg legt, die natürlich dauernd überwacht und gepflegt werden müssen. Er schafft dadurch einen Zustand, den die Natur sonst nur durch eine Heraushebung des Landes erreicht. Die Verwitterung ging weiter, auch wenn der Mensch durch Pflasterung der Oberfläche der Steilkante sie zu vermindern suchte, sie verbaut sich jedoch nach und nach durch die Schutthalden selbst die Angriffsflächen, so daß die Maßnahme des Menschen indirekt auch sie vermindert hat. Während die von den Wellen bespülte Steilwand die Erscheinungsform des zweiten Stadiums war, wurde es im dritten Stadium das Felsplateau mit den geböschten und später wohl auch begrüntem Hängen.

Während der Mensch sich erfolgreich bemühte, die Zerstörung des Felsens durch die Brandung zu verhindern, begann er auf der anderen Seite selbst mit der Zerstörung, indem er den Felsen aushöhlte. In der nur 1,5 km langen Insel schuf er ein System von Gängen, Tunneln und Räumen von rd. 14 km Gesamtlänge, also dem Neunfachen der Insellänge, und damit wurde das vierte Entwicklungsstadium der Insel eingeleitet, in dem der Mensch bewußt den Felsen unter Benutzung ortsfremder Kräfte abbaute, nämlich durch Sprengungen. Die Aushöhlung erfolgte durch kleine und kleinste Sprengungen in großer Zahl. Hier wurde die Schwächung des Felsens bei der Schaffung von unterirdischem Hohlraum bewußt mit in Kauf genommen, und es wurde versucht, sie durch Betonauskleidungen bis zu 1,5 m Dicke oder durch Ziegelsteinwände auszugleichen.

Die unterirdischen Räume gehörten zur Festung Helgoland, und ihr galt die nächste Phase der Zerstörung, die Bombenangriffe während des Krieges, besonders am 18. April 1945, und die Übungs- und Versuchsangriffe nach der Kapitulation mit Bomben bis zu 10 Tonnen Gewicht. Die Insel wurde ein Kraterfeld wie eine Mondlandschaft mit Einschlag neben Einschlag, und die tiefsten Trichter auf dem Oberlande erreichten Tiefen bis zu 15 m. Die Steilkante wurde wiederholt getroffen und bröckelte dadurch stärker als durch die Verwitterung ab. Auch die Schutzmauer wurde an mehreren Stellen beschä-

digt, so daß ihre Widerstandskraft verringert wurde.

Obgleich die Bombenangriffe das Bild der Insel im einzelnen erheblich veränderten — auf dem Oberland und dem Unterland war bei der dichten Lage der Bombeneinschläge kein Haus übrig geblieben — so waren sie doch nur der Auftakt zu der Sprengung der Festungsanlagen am 18. April 1947. Die unterirdischen Räume mit Ausnahme der Luftschutzanlage<sup>3)</sup> östlich der Treppe wurden mit deutschen und englischen Sprengstoffen, wie Granaten, Wasserbomben, Torpedoköpfen, Unterwassersprengpatronen, Minen und dergleichen, angefüllt, die ein Gesamtgewicht von 4610 Tonnen reinen Sprengstoffs hatten. Davon waren auf dem Oberland in die beiden eingebauten Batterien im Norden und in der Mitte der Insel und in ihrem nicht sehr tief liegenden, unterirdischen Verbindungsgang 850 Tonnen untergebracht worden. Die Hauptmenge von 3500 Tonnen befand sich in der vom Unterland zugänglichen, tiefen Anlage mit großen Stollen und Kammern. Sie erstreckte sich ungefähr 350 m weit nach Norden. Der Rest von 260 Tonnen diente zur Vernichtung des U-bootsbunkers. Die Sprengung wurde von einem neun Seemeilen entfernt stationierten Kabelleger mittels Unterwasserkabel ausgelöst. Über der Insel stand nach der Sprengung eine über 2000 m hohe Sprengwolke.

Die Sprengung hat das Gesicht der Insel wesentlich verändert, wie auf zwei Begehungen festgestellt werden konnte. Im nördlichen Teil des Oberlandes war an Stelle der beiden Batterien und ihrer unterirdischen Verbindung ein bis zu 20 m tiefer Talzug entstanden mit Hügeln zu beiden Seiten. Die Oberfläche sah aber nicht rot aus, wie man es vom Buntsandstein erwarten müßte, sondern grau, und es waren viele Kiesel verstreut. Die Betonwände der unterirdischen Anlagen waren pulverisiert und über die Oberfläche verteilt worden. Die ebene Fläche auf der eigentlichen Nordspitze war in einen scharfen Grat verwandelt worden. Das Gebiet der ehemaligen Siedlung auf dem Oberland war kaum verändert. Die wenigen übriggebliebenen Häuserruinen standen nach wie vor, nur war das Ganze mit einem Schleier verhältnismäßig feinen Schuttes übersät worden. Das Unterland hatte stärker gelitten, da hier neben einem Regen von feinem Staub eine intensive Blockbestreuung stattgefunden hatte. Der Staub war so fein, daß sich in austrocknenden Wasserlachen Trockenrisse bildeten, und die Blöcke waren außerordentlich einheitlich in der

<sup>3)</sup> Einige Zeit später ist auch die Luftschutzanlage und damit die Ostecke des Oberlandes und die Treppe gesprengt worden.

Größe; in der Mehrzahl maßen sie höchstens 20—30 cm, nur gelegentlich bis 50 cm. Betonbrocken richteten sich jedoch nicht nach dieser Regel. Diese Einheitlichkeit der Zerlegung des Buntsandsteins, die überall wieder beobachtet werden konnte, hängt mit der starken Zerklüftung des Gesteins zusammen.

Die stärkste Veränderung war naturgemäß in der Südwest-Ecke erfolgt, wo 3500 Tonnen Sprengstoff in der Tiefanlage zur Explosion gebracht worden waren. Die Ecke ist völlig in ein Kraterfeld verwandelt worden. Die Ausmaße des Gebietes sind in überschläglichen Zahlen: 370 m an der Südwestecke gegen die Brandungsterrasse, 280 m an der Ostseite gegen das Unterland und 240 m nach Norden gegen das stehengebliebene Oberland. Das Gebiet hat annähernd die Form eines rechtwinkligen Dreiecks, und bei einer Höhe von rund 50 m ergibt sich eine Gesteinsmenge von mehr als 1,5 Millionen Kubikmetern, die hier bewegt worden ist. Dabei konnte die Tiefenwirkung auch nicht annähernd mit in Rechnung gesetzt werden, weil nichts darüber bekannt ist. Auch die vorher genannten Gesteinszertrümmerungen auf dem Oberlande sind in dieser Zahl nicht mit enthalten. Von der früheren, äußersten Südwestecke ist eine kleine, anstehende Felspartie erhalten. Sie ist aber sehr stark zerrüttet und weist klaffende Spalten auf. Außerdem ist sie weitgehend von Schutt eingehüllt.

Das Sprenggebiet ist ein großer, rings von Schuttwällen umgebener Krater, in dem sich drei ineinander übergehende Trichter unterscheiden lassen, die durch schwache Schwellen voneinander getrennt sind. Darin befinden sich wieder einzelne kleine Sekundärkrater, die entweder von nachträglich im Untergrund explodierten Sprengkörpern herrühren oder von in die Luft geschleuderten Granaten, die beim Auftreffen detonierten. Die Schuttumwallung legt sich im Norden bis zur vollen Höhe an die neu geschaffene Steilwand an. An einer Stelle hat sie sogar noch einen Schutthügel von etwa 15 m Höhe auf das Oberland aufgeschüttet. Erst an den beiden Seiten nimmt die Schutthalde an Höhe ab und gibt teilweise die neue Steilwand frei. Gegen das Unterland ist die Umwallung verhältnismäßig niedrig, da hier ein großer Teil des Schuttes über das Unterland verteilt worden ist. Das hängt wohl damit zusammen, daß die Stollenausgänge der Tiefanlage nicht verdämmt wurden und so eine starke Druckwelle in Richtung auf das Unterland entstand. In Richtung auf die Brandungsterrasse, also nach Südwesten, ist die Umwallung schätzungsweise 30—40 m hoch. Der obere Rand ist nicht eben, sondern es sind einige

Aufschüttungskegel aufgesetzt. Der Böschungswinkel der ganzen Umwallung ist innen wesentlich größer als außen. Dicht nördlich von dem bereits erwähnten stehengebliebenen Südpfeiler ist die Westumwallung sehr niedrig, und eine große flache Schutthalde erstreckt sich auf die Brandungsterrasse hinaus. Hier hat man den Eindruck, als ob die Wände des ausgehöhlten Felsens sehr dünn gewesen seien, so daß auch hier sich eine starke seitliche Druckwelle ausbilden konnte. Der „Mönch“, oder richtiger der Felsen „Ingelskark“, der hier innerhalb der Schutzmauer stand, ist mit vernichtet worden und in dem allgemeinen Schutt verschwunden. Der Einzelfelsen „Hoyshorn“, der dicht vor der Nordgrenze der Explosionswirkung stand, ist in große Platten auseinander gefallen, die schöne fossile Wellenfurchen und Trockenrisse zeigen.

Die neu entstandene Steilwand ist nicht in großen ebenen Flächen abgebrochen. Die beiden hauptsächlich, nahezu senkrecht aufeinander stehenden Kluftsysteme haben ein- und auspringende Winkel an der Wand hervorgerufen, die bei der geringen Wetterbeständigkeit des Gesteins in dieser Schärfe nur kurze Zeit erhalten bleiben werden. Gleichzeitig werden hierdurch die Gründe für die Maximalgrößen der Blöcke in den Schuttmassen aufgezeigt.

Die stehengebliebenen Teile der Steilküste wurden durch die Explosion ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen. Bisher geschlossene Klüfte öffneten sich und klaffen teilweise nicht unerheblich. Außerdem vergrößerten sich die vorhandenen Schutthalden und neue entstanden. Der Schutt stammt zum Teil unmittelbar von den Steilwänden, die infolge der Explosion abblätterten, zum Teil aber auch aus dem Inneren, von wo er durch die Luft hierher geflogen und niedergefallen ist. Als Beweis und „Leitfossil“ dienen Geschützrohre, Teile von Panzerkuppeln und dergleichen, die in den Halden anzutreffen sind. Die größte derartige Schutthalde liegt an der Nordostspitze nördlich von Petersen-Horn, sie reicht bis auf das Oberland hinauf und besteht aus verschiedenen Schuttströmen übereinander, die auch wieder Festungsreste enthalten. Der einzige noch vorhandene Einzelfelsen, der „Hengst“ oder das „Nathurn“, scheint unbeschädigt geblieben zu sein.

Überblicken wir wieder die diesen Entwicklungsabschnitt beeinflussenden Kräfte, so bleibt zunächst der Zustand des vorhergehenden Abschnittes bestehen: Die Brandung ist weitgehend ausgeschaltet, und die Verwitterung häuft Schutt vor der Steilküste an. Neu und ent-



scheidend kommt die Kraft von Explosionen hinzu, die der Mensch veranlaßt und auslöst. In der freien Natur kennen wir Explosionen fast nur im Zusammenhang mit dem Vulkanismus, und so liegt es nahe, dort Parallelen für die Wirkungen dieses geologischen Großversuches zu suchen. Die Sprengung der Tiefanlage entspricht einer Maarexplosion, bei der nur Gas, aber keine Lava gefördert wurde. Es zeigt sich, daß durch eine einzige Explosion eine erhebliche Umwallung geschaffen werden kann und daß hierfür nicht eine Reihe von Eruptionen und Schuttbewegungen nötig sind. Der Talzug auf dem Oberland entspricht einem Rinnenvulkanismus, wie er auf Island anzutreffen ist. Die Bombeneinschläge kann man bis zu gewissem Grade mit den seltenen Meteoreinschlägen in Parallele setzen, kommt es dabei doch auch gelegentlich zu Detonationen der Himmelskörper. Jedenfalls ist durch diesen künstlichen Vulkanismus vom Menschen eine Kraft herangezogen worden, die sowohl dem Aufbau als auch der Lage der Insel völlig wesensfremd ist, und deshalb besteht auch ein ganz großer Widerspruch zwischen den neu geschaffenen Formen und dem übrigen Landschaftsbild. Sie wirken wie ein Fremdkörper in einem ausgeglichenen Organismus, und es wird schon einige Zeit dauern, bis sie eingewachsen sind. Zunächst müssen die Explosivkräfte aufhören zu wirken, und es ist zu wünschen, daß dies in absehbarer Zeit der Fall sein möge. Zeitlich gesehen ist diese vierte Entwicklungsperiode bisher die kürzeste, aber sie ist wohl die einschneidendste.

Was wird sich anschließen? Wenn der Mensch nicht wieder in irgendeiner Form eingreift, wird die Schutzmauer eine Zeitlang das Stadium drei wieder eintreten lassen. Da sie jedoch an einigen Stellen erheblich beschädigt und unter der Schutthalde an der Südwestecke anscheinend völlig zerstört ist und die Schutthalde von der Brandung sehr rasch aufgearbeitet werden wird, besteht beim Fehlen einer Pflege der Schutzmauer die Gefahr, daß die Wellen den eigentlichen Inselkörper wieder erreichen und somit das Stadium zwei wiederherstellen. Es besteht allerdings ein wesentlicher Unterschied gegen früher, denn das Felsplateau ist ausgehöhlt und viel weitergehend zerrüttet als früher, so daß die Zerstörung durch die Brandung in einem wesentlich schnelleren Tempo vor sich gehen wird. Das Ende wird der Vernichtung des weißen Felsens im Jahre 1711 vergleichbar sein. Eine katastrophale Sturmflut wird auch dem „roten Felsen“ ein Ende machen. Wenn Helgoland jedoch als Schutzhafen, als Ort eines Leuchtfuers, als Fischersiedlung und als Er-

holungsort für Heuschnupfler und andere Erholungsbedürftige und als Platz für die wissenschaftliche Erforschung des Meeres und des Vogelzuges seine Bedeutung und seine Notwendigkeit wiedergewinnen sollte, stehen vielleicht auch die Mittel zur Instandhaltung der Schutzmauer wieder zur Verfügung, und das kleine, einmalige Felseneiland bleibt der Brandung entzogen. Die Verwitterung und damit die Abtragung werden allerdings auch schneller als früher arbeiten und die noch vorhandenen Steilkanten mit Schutt überziehen. Begründet sich dann alles, so bekommt Helgoland wieder ein anderes Gesicht und tritt in seine fünfte Entwicklungsphase ein.

### Zusammenfassung

Es wird die Entwicklung der Insel Helgoland vom Augenblick der Loslösung vom Festlande bis zur Gegenwart verfolgt. Sie kann in vier Abschnitte eingeteilt werden, die jeweils durch andere Kombinationen von in der Landschaft wirksamen Kräften bedingt sind.

Entwicklungsabschnitt 1: Helgoland hat sich als Insel von dem nach Eiderstedt hinüberführenden Rücken losgelöst. Im Westen ist am Felsplateau eine Kreidesteilküste vorhanden, im Osten ist ein diluviales Flachland vorgelagert. Die Fluten steigen weiter, und die Brandung vernichtet das flache Vorland und erreicht allseitig das Felsmassiv.

Entwicklungsabschnitt 2: Die Senkung des Landes klingt aus, die Brandung greift praktisch auf einer Ebene an und schafft eine große Brandungsterrasse, indem sie den roten Buntsandsteinfelsen der Hauptinsel und den weißen Kalkfelsen auf den Dünenklippen immer weiter zerstört. Der anfallende Verwitterungsschutt wird von der Brandung aufgearbeitet.

Entwicklungsabschnitt 3: Der Mensch baut Schutzmauern und schützendes Gelände, um den Einfluß der Brandung von der Felskante fernzuhalten. Der Verwitterungsschutt bleibt hinter den Schutzbauten liegen und schützt seinerseits die Steilkante.

Entwicklungsabschnitt 4: Der Mensch greift mit Sprengungen ein. Zuerst höhlt er den Felsen aus, dann versucht er durch Oberflächensprengungen (Bombenwürfe) zu zerstören, und schließlich werden die unterirdischen Hohlräume mit 4610 Tonnen Sprengstoff gesprengt. Die Folge ist eine weitgehende Veränderung des Inselbildes, die im einzelnen beschrieben wird. Die zukünftige Entwicklung der Insel hängt von dem weiteren Einfluß des Menschen ab.