

# ***So entstand Schleswig-Holstein***

*Autoren:*

*Thomas Voß* (Dipl.-Geologe)

*Göta Bürkner* (Dipl.-Geologin)

*Dr. Jörg Geldmacher* (Dipl.-Geologe)

**Thomas Voß**  
Blücherstraße 16  
25336 Elmshorn  
Tel.: 04121 / 4751721

# **Inhalt**

	<b>Seite</b>
<b>1. Alles in Bewegung</b>	<b>1</b>
<b>2. Klimaveränderungen und ihre Folgen</b>	<b>5</b>
<b>3. Norddeutschland und seine Gletscher</b>	<b>8</b>
<b>4. Was kam nach der letzten Eiszeit ?</b>	<b>19</b>
<b>5. Schleswig-Holstein - ein geologisches Streifenmuster</b>	<b>21</b>
<b>6. Ein Blick in die Tiefe</b>	<b>23</b>

In den ersten beiden Kapiteln erhalten Sie eine Einführung in die wichtigsten geologischen Prozesse, die in und auf unserem Planeten stattfinden. Die darauf folgenden Kapitel beschäftigen sich mit der Entstehung Schleswig-Holsteins.

## 1. Alles in Bewegung

Kaum ein Tag vergeht, ohne dass man in der Tagespresse nicht solche oder ähnliche Meldungen lesen kann:

- Vulkanausbruch in Indonesien verschüttet zwei Dörfer.
- Der Hangrutsch in den Walliser Alpen bedroht die Bundesstraße 401.
- Hamburger Hafen muss schon wieder ausgebaggert werden. Fahrrinne durch Schlick-ablagerungen um 90 cm flacher geworden.

Die Erde ist ein geologisch ungemein aktiver Planet. Man kann bei diesen Aktivitäten zwischen der **inneren** und der **äußeren Dynamik** unterscheiden.

### Innere Dynamik

Zur inneren Dynamik gehören, wie man leicht vermuten kann, alle Vorgänge, deren Ursache im Erdinneren liegen, wie zum Beispiel Erdbeben, Vulkanismus, Gebirgsbildung und die Wanderung der Erdplatten.

Die Erde ist aus drei konzentrisch angeordneten Schalen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung aufgebaut: dem Kern, dem Mantel und der Kruste.

Der **innere Kern** setzt sich aus Eisen und etwas Nickel zusammen. Er ist fest. Der **äußere Kern** hingegen besteht aus flüssigem Eisen.

Im **Erdmantel** sind vorwiegend Minerale vorhanden, die aus den Elementen Silizium, Magnesium und Sauerstoff aufgebaut werden. Der Mantel ist extrem zähflüssig (hoch-

viskos). Das bedeutet, dass er im Gegensatz zum inneren Kern fließfähig, jedoch nicht flüssig wie der äußere Kern ist. Heißes, leichteres Mantelmaterial steigt bis zur Erdkruste auf, kälteres sinkt in Richtung Erdmittelpunkt ab. Auf diese Weise entsteht eine **Umwälzung**, die dafür sorgt, dass das Erdinnere immer mehr abkühlt.

Die **Kruste** ist die äußere Haut der Erde. Hier ist das Gestein so kalt, dass es in fester, mineralischer Form vorliegt. Warum man trotzdem Gesteinsbewegungen von erstaunlichem Ausmaß an der Erdoberfläche beobachten kann, soll im Folgenden erklärt werden:

Die Kruste und der oberste Teil des Mantels bilden acht große und einige kleinere Erdplatten, die aufgrund ihrer geringen Dichte auf dem Mantel schwimmen. Grundsätzlich können zwei Arten von Platten unterschieden werden: Platten, deren oberste Schicht aus schwerer ozeanischer Kruste besteht, und Platten, die von relativ leichter kontinentaler Kruste bedeckt sind. Die Erdplatten befinden sich aufgrund der oben geschilderten Umwälzungen in ständiger Bewegung. Manche Platten bewegen sich nur aneinander vorbei, andere prallen aufeinander. Dabei können Geschwindigkeiten von bis zu 10 cm pro Jahr erreicht werden. Wenn sich zwei Platten aufeinander zu bewegen, muss stets die schwerere von beiden in den Mantel abtauchen, um auszuweichen. Diese **Kollision der Platten** wird von starken **Erdbeben** begleitet (z.B. in Japan). Größere Erdbeben können auch auftreten, wenn sich zwei Platten aneinander vorbeibewegen (z.B. in Kalifornien). Stoßen zwei Erdplatten mit kontinentaler Kruste aufeinander, türmt sich die Kruste hoch auf und ein **Gebirge** entsteht (z.B. Himalaya, Alpen).

Das Gegenstück zu den Kollisionszonen sind die Mittelozeanischen Rücken (Island z.B. liegt auf einem solchen). An dieser Nahtstelle entfernen sich zwei Platten

voneinander, und **ozeanische Kruste** wird neu gebildet. Heißes Magma dringt aus dem Mantel an die Erdoberfläche, kühlt ab und erstarrt zu festem Gestein. Auch innerhalb von Erdplatten kann Magma sich bei ausreichend hoher Temperatur aus dem tiefen Mantel bis an die Erdoberfläche schweißbrennerartig “durchbrennen” und **Vulkane** aufbauen.

## Äußere Dynamik

Die äußere Dynamik findet an der Erdoberfläche statt. Die Gesteine verwittern, werden zum großen Teil abgetragen und wieder abgelagert. Würden durch die innere Dynamik, als natürlichem Gegenspieler, nicht immer wieder Gesteine entstehen bzw. große, felsige Gebirgsmassive stetig herausgehoben werden, wäre die Erde inzwischen „so platt wie bei Büsum hinterm Deich“.

Während in extremen Klimaten die **mechanische Verwitterung** vorherrscht (z.B. heiße Wüsten oder eisige Polargebiete), ist im regenreichen, mäßig warmen Mitteleuropa vor allem die **chemische Verwitterung** wirksam.

Bei der mechanischen Verwitterung werden die Felsen der Gebirge durch Frostsprengung und starke Temperaturdifferenzen zerkleinert. Bei der chemischen Verwitterung handelt es sich um ein Wechselspiel aus chemischer Lösung durch Regenwasser und Pflanzenaktivität. Während in extremen Klimaten das zerkleinerte und vom festen Gesteinsverbund abgelöste Material oft relativ schnell abtransportiert wird, kann in gemäßigten und tropischen Breiten der Weitertransport durch die Vegetationsdecke lange genug verzögert werden, um fruchtbaren Boden zu bilden. Boden ist schließlich nichts weiter als das vorläufige Endprodukt der chemisch-biologischen Gesteinsverwitterung. Je nach Ausgangsgestein und Verwitterungsart kann man verschiedene Böden unterscheiden. In Norddeutschland

sind sogenannte Parabraunerden weit verbreitet. Wie der Name es andeutet, färben Eisenoxyde (also verrostete eisenhaltige Mineralien) den Boden dunkelbraun.

Der **Transport** von Böden und größeren Gesteinsbrocken geschieht durch Wasser, Eis und Wind. Die flächenhafte Abtragung in Mitteleuropa beträgt 1 bis 10 cm pro tausend Jahre. Dort, wo die Landschaft steiler ist oder die Vegetation spärlicher wächst, kann dieser Betrag noch weit überschritten werden.

Das Wasser kann je nach Fließgeschwindigkeit unterschiedlich großes Material als Schwebfracht oder rollend im Flussbett transportieren. Große Felsbrocken, aber auch sehr feines Material wird durch sich bewegendes Eis transportiert (siehe Kapitel 3). Selbst der Wind ist in der Lage, große Mengen von feinem Material zu befördern.

Das abgetragene Material wird jedoch nicht immer gleich in die tiefen Meere transportiert. Die **Ablagerung** findet auch auf den Kontinenten statt, wo zunächst einmal die größeren Mulden langsam aber stetig zugeschüttet werden. Das gesamte Norddeutsche Tiefland einschließlich des Nordseebeckens ist eine solche Mulde, die eigentlich längst voll wäre, wenn sie sich nicht seit rund 250 Millionen Jahren langsam absenken würde.

Die Sedimentfracht der Flüsse wird bei einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit, nach Korngrößen sortiert, wieder abgelagert. Dort, wo die Fließgeschwindigkeit noch recht hoch ist, bleiben nur große Steine liegen. Bei mittleren Fließgeschwindigkeiten sinkt Sand zu Boden, und bei sehr geringer Strömungsgeschwindigkeit setzt sich die feine Schwebfracht ab.

Das durch Eis transportierte Material wird erst dann abgelagert, wenn das Eis schmilzt. Hierbei findet keine Sortierung statt.

Mit dem Wind als Transportmedium verhält es sich ähnlich wie mit dem Wasser. Das vom Wind transportierte Material wird gut sortiert abgelagert. In Sanddünen zum Beispiel finden wir Sand mit gleichen Korngrößen.

Wir haben nun erfahren, dass sich die Oberfläche der Erde ständig bewegt und verändert. Die Tatsache, dass uns dies nicht allzu bewusst ist, hängt damit zusammen, dass wir immer nur einen Momentausschnitt erleben, da die Prozesse meist über einen Zeitraum von mehreren Millionen Jahren stattfinden.

Kommen wir zurück zum Thema des Buches, und zwar zur Entstehung Norddeutschlands. Da Norddeutschland fast ausschließlich aus eiszeitlichen Ablagerungen besteht, müssen wir uns zunächst mit den Ursachen der Eiszeiten beschäftigen.

## **2. Klimaveränderungen und ihre Folgen**

Im „Sommer“ 1998 gab es in Deutschland wohl außer den Besitzern von Reisebüros kaum jemanden, der nicht über das miserable Wetter genervt war. Die einen ereiferten sich: „Was reden die im Fernsehen immer von Treibhauseffekt, so einen kalten und nassen Sommer hatten wir ja schon lange nicht mehr“. Die anderen entgegneten: „Ja, gerade das sind doch schon die Anzeichen von Klimaveränderungen“. Und die älteren Mitbürger schwärmten von heißen Sommern und schneereichen Wintern, die es früher immer gegeben hätte.

In Wahrheit ist das Klimageschehen viel komplexer. Genauso, wie „eine Schwalbe noch keinen Sommer macht“, können zwei oder drei schlechte Sommer oder warme Winter noch nicht als Anzeichen für eine langfristige Klimaveränderung gelten. Die Meteorologen unterscheiden daher auch zwischen **Wetter** und **Klima**, wobei das Klima immer die Summe des Wetters vieler Jahre ist.

Anhand von Ablagerungen aus früheren Zeiten lässt sich heute sagen, dass das Klima während der bisherigen Erdgeschichte ständigen Schwankungen unterlag. Diese Erkenntnis ist nicht besonders neu, doch inzwischen kann man dank umfangreicher interdisziplinärer Forschung auch mehr über die Gründe sagen. Im Wesentlichen sind es drei Faktoren, die das Klima beeinflussen:

- Die **Umlaufbahn der Erde** um die Sonne ist nicht konstant, so dass die Energiemenge, die auf die Erde trifft, variiert.
- Die auf der Erde ankommende Energiemenge wird je nach **Wasser/Land-Verhältnis** und Zusammensetzung der **Atmosphäre** in unterschiedlichen Anteilen aufgenommen bzw. wieder in den Weltraum abgegeben.
- Die Lage der Kontinente bestimmt den Verlauf von **Meeresströmungen**. Diese haben einen großen Einfluss auf die Wärmeverteilung auf der Erde.

In der ca. 4,6 Milliarden Jahre langen Erdgeschichte gab es mehrere Zeitabschnitte, in denen aufgrund klimatischer Bedingungen die Polkappen und hohe Gebirgsregionen vergletscherten. Auch heute leben wir in einem solchen **Eiszeitalter**. Doch auch innerhalb eines Eiszeitalters gibt es Klimaschwankungen, so dass man zwischen **Warm-** und **Kaltzeiten** unterscheidet. Während der Kaltzeiten nimmt die Eismenge zu. Ist die Eismenge so groß, dass sich die Gletscher weit über die Polregionen hinaus ausbreiten, spricht man von einer **Eiszeit**.

Das als Eis gebundene Wasser entstammt ursprünglich dem Meer. Folglich ist während der Eis- und Kaltzeiten ein **Absinken des Meeresspiegels** zu beobachten. Wird es dagegen wärmer und das Eis schmilzt ab, steigt der Meeresspiegel wieder an. Zur Zeit leben wir in einer Warmzeit und der Meeresspiegel steigt. Jüngste Forschungsergebnisse zeigen, dass die Geschwindigkeit dieser globalen Erwärmung durch die Emission von Industrie- und Autoabgasen und dem damit verbundenen Treibhauseffekt deutlich zunimmt.



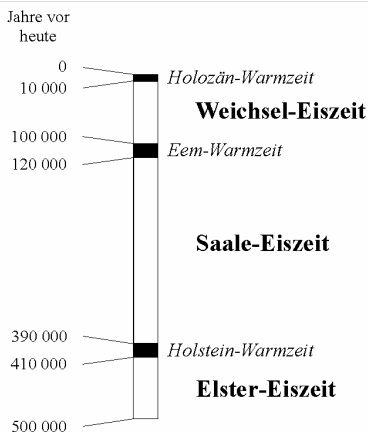
## Wie entsteht ein Gletscher ?

Ein Gletscher bildet sich immer dann, wenn im Winter mehr Schnee fällt, als im Sommer schmelzen kann, es also im Laufe der Jahre zu einer stetigen Ansammlung von Schneemassen kommt. Für eine Gletscherentstehung in Eiszeiten müssen die Winter also gar nicht einmal ungewöhnlich kälter sein als heute, sondern sie müssen vor allem niederschlagsreich (bzw. schneereich) sein, während die Sommer hingegen kühler sein müssen als heute, damit möglichst viel Schnee bis zum nächsten Winter liegen bleibt. Schnee besteht zunächst einmal zu 90 % aus Luft ! Erst durch die Auflast von immer neuem Schnee sorgt der steigende Druck für eine Verfestigung. Die Schneekristalle werden immer enger aneinander gepresst und beginnen in die verbleibenden Hohlräume hineinzuwachsen. So wandelt sich schließlich der Schnee über Firnschnee und Firneis zu Gletschereis mit nur noch 2 % Lufthohlräumen um. Ist der Gletscher dann entsprechend mächtig geworden, fängt er aufgrund der Schwerkraft an, seitlich auseinander zu fließen. Jeder, der beim Schlittschuhlaufen schon einmal unsanft auf die Eisfläche gestürzt ist, wird sich fragen, wie so etwas Hartes und Starres wie Eis überhaupt „fließen“ kann. Um so überraschender ist es, dass es je nach Temperatur des Eises sowie nach Untergrund und Hangneigung verschiedene Bewegungsarten von Gletschereis gibt. Die wichtigste Bewegungsart hängt jedoch mit der **Druckverflüssigung** des Eises an der Gletscherbasis zusammen. Wie beim Schlittschuhlaufen kommt es durch den hohen Druck zum Schmelzen des Eises und der Gletscher gleitet auf einem Wasserfilm.

### 3. Norddeutschland und seine Gletscher

In der jüngsten geologischen Zeiteinheit, dem **Quartär**, gab es weltweit vier große Eiszeiten, in denen sich von den Polregionen und den hohen Gebirgen große Gletscher nach allen Seiten ausbreiteten. Zwischen den Eiszeiten herrschten Temperaturen, die den heutigen vergleichbar sind. Infolgedessen schmolz das Eis weitestgehend wieder ab.

Während der ersten großen Eiszeit reichte das von Skandinavien kommende Eis nicht bis nach Schleswig-Holstein. Daher sollen hier auch nur die darauf folgenden letzten drei Eiszeiten besprochen werden. Den Eiszeiten wurden Namen gegeben, die identisch mit Namen von Flüssen sind, die heute im Bereich des damaligen Eisrandes fließen. Um es uns leichter zu machen, wurde darauf geachtet, dass die alphabetische Reihenfolge der Anfangsbuchstaben der Flüsse mit der zeitlichen Reihenfolge der Eiszeiten übereinstimmt. In Norddeutschland werden die Eiszeiten nach den Flüssen **Elster**, **Saale** und **Weichsel** benannt. Der Abbildung 1 ist zu entnehmen, dass die letzte

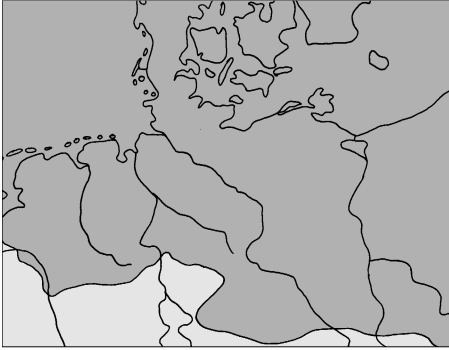


**Abb. 1:** Zeitliche Abfolge der Eis- und Warmzeiten in Norddeutschland.

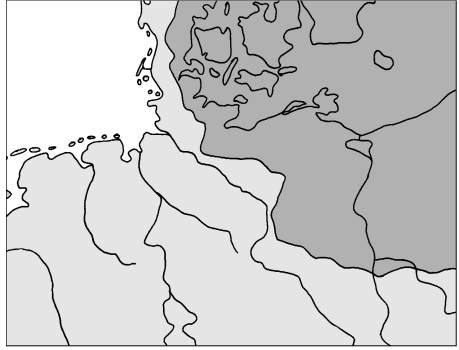
Eiszeit vor 10 000 Jahren endete und wir jetzt in der Holozän-Warmzeit leben.

Die von Nordosten kommenden Gletscher sind während der drei Eiszeiten unterschiedlich weit nach Süden vorgestoßen. Während das Eis der Elster- und Saale-Eiszeit sogar die deutschen Mittelgebirge erreichte und somit zeitweise ganz Norddeutschland bedeckte, kamen die Gletscher der Weichseleiszeit nur bis zur Mitte Schleswig-Holsteins (siehe Abb. 2, 3). Dabei ist jedoch zu beachten, daß sich der Gletscher-

rand aufgrund kleinerer Klimaschwankungen ständig vor- und zurückbewegte. Die Abbildungen zeigen nur die maximalen Ausdehnungen.



**Abb. 2:** Während der Elster- und Saale-Eiszeit war Norddeutschland bis zu den Mittelgebirgen von Eis bedeckt.



**Abb. 3:** Die Gletscher der Weichsel-Eiszeit bedeckten in ihrem Maximum nur den östlichen Teil Schleswig-Holsteins.

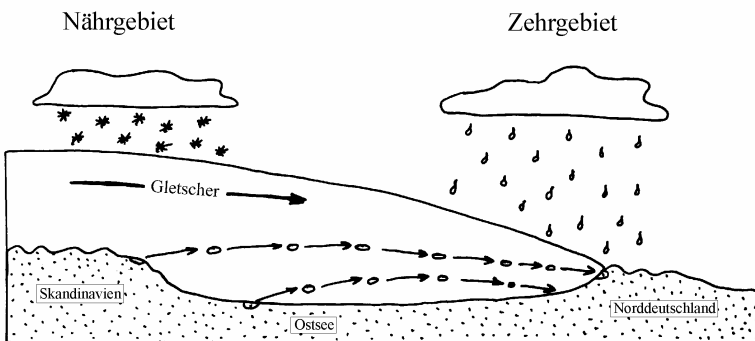
## Wie transportiert ein Gletscher Gesteinsmaterial ?

Mit dem von Skandinavien kommenden Eis gelangte auch eine gewaltige Menge Gesteinsmaterial zu uns, ohne das Schleswig-Holstein heute so tief liegen würde, dass es vom Meer überflutet wäre.

Den Gesteintransport durch einen Gletscher kann man sich wie ein **Förderband** vorstellen. Unabhängig davon, ob sich der Gletscherrand zurückbewegt, an Ort und Stelle bleibt oder vorstößt, das Eis befindet sich in einer ständigen Bewegung von seinem Entstehungsgebiet (Nährgebiet) zu den Rändern (Zehrgebiet), wo es abschmilzt (siehe Abb. 4). Auf diese Weise transportiert der Gletscher Material, das im Eis eingeschlossen ist, in Richtung Gletscherrand. Doch Steine fallen nicht vom Himmel, und so kann man sich fragen, wie das Gesteinsmaterial in das Eis gelangt.

Betrachtet man die kahlen Felsen Skandinaviens näher, so sind häufig deutliche **Gletscherschrammen** zu erkennen. Sie zeigen, dass ein Gletscher den Untergrund wie ein Hobel bearbeitet und dabei große Felsstücke und feingeschliffenes Material aufnimmt. Vor allem südlich von Skandinavien, wo anstelle der harten Felsen überwiegend Lockergesteine anzutreffen sind, konnten die Gletscher eine tiefe Mulde aushobeln. Aus dieser Mulde wurde später die heutige **Ostsee**.

Überall dort, wo das Eis schmilzt, bleibt als Folge die Gesteinsfracht liegen. Nun stellt sich unweigerlich die Frage, wo schmilzt das Gletschereis? Zum einen wurde schon gesagt, dass im Zehrgebiet die Temperaturen über  $0^{\circ}\text{C}$  liegen und dort der Gletscher von seiner Oberfläche her zu schmelzen beginnt. Aber auch an der Gletschersohle schmilzt das Eis aufgrund des hohen Druckes. Folglich lagert sich das Gesteinsmaterial am Gletscherrand und unter dem Gletscher ab. Dies steht nicht im Gegensatz zu der Aussage, dass ein Gletscher an der Sohle den Boden abhobelt. Beide Vorgänge finden statt, doch überwiegt im Nährgebiet (das Eis ist noch relativ „sauber“) die abhobelnde und im Zehrgebiet (das Eis ist wesentlich gesteinsreicher) die abgelagernde Wirkung.



**Abb. 4:** Ein Gletscher nimmt im Nährgebiet Gesteinsmaterial an der Gletschersohle auf und lagert es im Zehrgebiet wieder ab.

## Welche Gletscherablagerungen gibt es ?

Das von den Gletschern abgelagerte Material ist sehr unterschiedlich ausgebildet. Im Mittelpunkt des Interesses steht der **Korndurchmesser** der einzelnen Partikel. Daher wurden Vereinbarungen getroffen, wie die verschieden großen Partikel benannt werden:

Ton	(kleiner 0,002 mm)	
Schluff	(0,002 - 0,063 mm)	Einzelkörner nicht sichtbar
Sand	(0,063 - 2 mm)	Einzelkörner sichtbar
Kies	(2 - 63 mm)	größer als Streichholzköpfe
Steine	(6,3 - 20 cm)	größer als Hühnereier
Blöcke	(größer 20 cm)	

Manche Gletscherablagerungen bestehen aus Partikeln mit annähernd denselben Korndurchmessern, andere beinhalten ein Gemenge verschiedener Korngrößen. Im ersten Fall spricht der Geologe von „**sortiertem Material**“. Der zweite Fall wird entsprechend als „**unsortiert**“ bezeichnet.

Wir werden uns jetzt mit den drei wichtigsten Gletscherablagerungen näher beschäftigen:

### Geschiebemergel und Geschiebelehm

Der Geschiebemergel bzw. Geschiebelehm kann mit folgenden drei Worten zusammengefasst werden:

„**Von allem etwas**“

Er besteht aus einem Gemenge von Ton, Schluff, Sand, Kies, Steinen und Blöcken. Er ist daher ein Paradebeispiel für unsortiertes Material.

Aufgrund des Ton- und Schluffanteils ist der Geschiebemergel/-lehm knet- und formbar. Er gehört daher zu den bindigen Böden. Die Farbe variiert zwischen braun und grau.

Die Unterscheidung von Geschiebemergel und Geschiebelehm begründet sich im Kalkgehalt. Der Geschiebemergel ist kalkhaltig. In den oberen Bodenschichten ist der Kalk häufig durch Regenwasser herausgelöst und dann spricht man von einem Geschiebelehm. Die Geologen überprüfen im Gelände den Kalkgehalt mit ein paar Tropfen 10 %iger Salzsäure. Braust der Boden, weil bei der Reaktion von Säure und Kalk Kohlendioxyd entsteht, so ist Kalk enthalten.

Der Geschiebemergel entsteht an der Sohle und dem Rand des Gletschers, wo dieser seine Fracht beim Schmelzen des Eises hinterlässt.

### Sand und Kies

Sande und Kiese sind meist als gut sortiertes Material abgelagert. Das heißt, es handelt sich um ein relativ enges Korngrößenspektrum. Eine solche Sortierung findet in fließendem Wasser statt. Das Abschmelzen des Gletschereises im Zehrgebiet hat ein gewaltiges Aufkommen an Schmelzwasser zur Folge. Von der Gletscheroberseite fließt das Wasser über Gletscherspalten nach unten und vereinigt sich mit dem am Gletscherfuß gebildeten Schmelzwasser zu sogenannten subglazialen Flüssen. Diese Flüsse können durch ihre hohe Fließgeschwindigkeit große Mengen Gesteinsmaterial aufnehmen und transportieren. Am Gletschertor verlassen sie das Eis und können sich im Vorland ausbreiten. Dabei wird die Fließgeschwindigkeit herabgesetzt und nach und nach wird erst grobes und dann zunehmend feines Material sortiert abgelagert. In direkter Gletschernähe ist die Strömung der Flüsse meist noch so

stark, dass nur Blöcke und große Steine im Flussbett liegen bleiben. Das feinere Material wird weiter stromabwärts transportiert, bis schließlich auch dieses mit abnehmender Fließgeschwindigkeit zu Boden sinkt. Auf diese Weise ist fließendes Wasser in der Lage, unsortiertes Gesteinsmaterial in und unter dem Gletscher mitzureißen und in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit sortiert wieder abzulagern. Im Umkehrschluss gibt uns die Korngröße einen Aufschluss darüber, wie weit der damalige Ablagerungsraum vom Gletscherrand entfernt war.

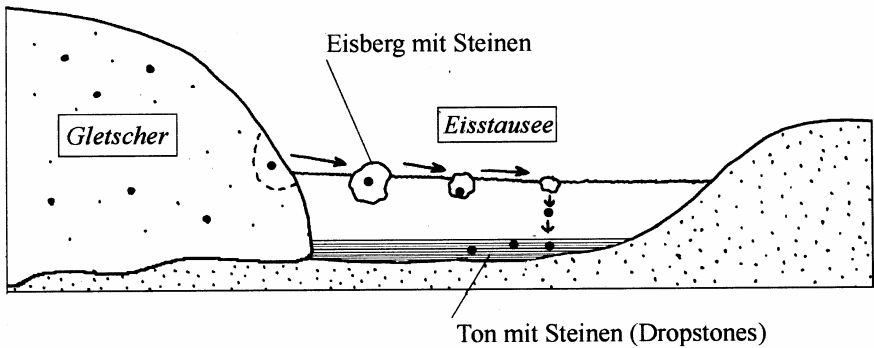
### Ton

Als dritte typische Gletscherablagerung soll hier der Ton beschrieben werden. Er zeichnet sich durch seine hohe Plastizität aus. Das heißt, er ist sehr gut knet- und formbar. da es sich auch hier um sortiertes Material handelt (die Körner haben annähernd den gleichen Korndurchmesser), muss Wasser als sortierendes Medium wieder an dem Prozess der Ablagerung beteiligt sein. Ein Fluss kommt nicht in Frage, denn der würde das feine Material sofort wegspülen. Folglich findet die Ablagerung in ruhenden Gewässern, wie z.B. einem See, statt. Vor den Gletschern bilden sich oft sogenannte Eisstauseen zwischen dem abschmelzenden Eis und vorgelagerten Erhebungen. Das Schmelzwasser, welches reich an Gletschertrübe ist, kommt in diesen Eisstauseen zur Ruhe und die Trübe sinkt langsam zu Boden und bildet den Ton (Abb.5).

In manchen Tonablagerungen kann man eine millimeterfeine Schichtung erkennen, die sich durch einen Farbwechsel zwischen hell und dunkel auszeichnet. Die hellen Schichten sind Feinsandlagen. Dieser Wechsel der Ablagerungen ist jahreszeitlich bedingt. Im Winter ist das Schmelzwasseraufkommen aufgrund der niedrigeren Temperaturen geringer, und folglich wird auch nur noch sehr feines Material dem

Gletschersee zugeführt. Im Sommer steigt das Schmelzwasseraufkommen und die in den Gletschersee mündenden Gletscherflüsse führen auch Feinsand mit sich. Diese geschichteten Ablagerungen nennt der Geologe „Warven“ und mit ihrer Hilfe ist es durch Abzählen der Schichten in der Lage, eine Zeittafel aufzustellen.

Teilweise findet man auch große Steine in diesen Tonen und ist zunächst darüber verwirrt, wie sie in den Ton gelangt sind. Die Antwort erhält man, wenn man heute existierende Gletscherseen besucht. Die Steine, sie werden „Dropstones“ genannt, stammen von den abschmelzenden Eisbergen, die auf dem See schwimmen.

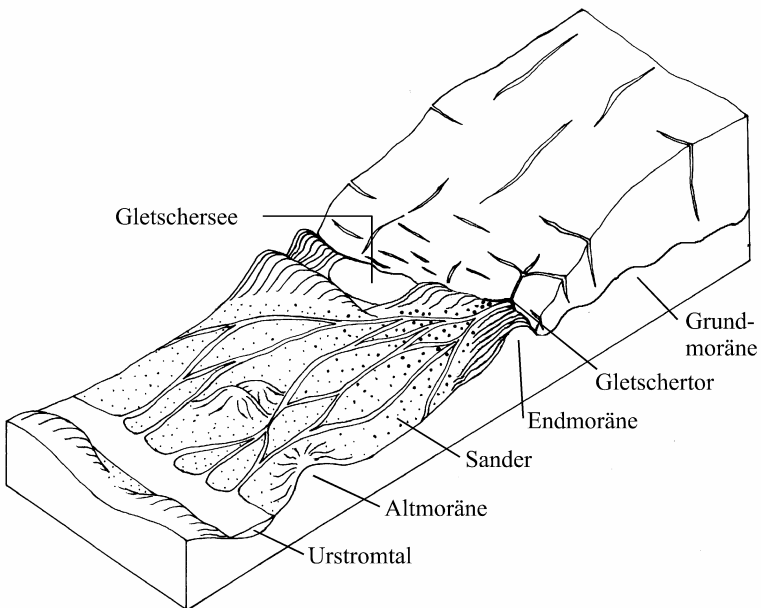


**Abb. 5:** In einem Gletschersee sinken die trüben Bestandteile des Schmelzwassers langsam zu Boden und bilden tonige Ablagerungen. Auch größere Steine sind im Ton zu finden. Sie gelangen durch abschmelzende Eisberge in die feinen Sedimente.



## Wie haben Gletscher die Landschaft in Norddeutschland geformt ?

In der Gletscherkunde werden Geländeformen, die durch Gletscher entstehen, in der sogenannten **glazialen Serie** in ein zusammenhängendes Bild gebracht. Die Abbildung 6 zeigt diese Serie von Geländeformen, die jedoch nur als idealisiertes Modell existiert. In der Wirklichkeit sind die Geschehnisse weitaus komplexer, da der Gletscherrand sich bewegt und auf diese Weise seine eigenen Strukturen wieder überprägt und zerstört. Die verschiedenen Geländeformen sollen im Folgenden einzeln beschrieben werden.



**Abb. 6:** Die sogenannte glaziale Serie gibt in idealisierter Form wieder, welche Geländeformen durch einen Gletscher entstehen.

## Moränen

Es gibt prinzipiell zwei verschiedene Morärentypen: Zum einen die Moränen, die unter dem Gletschereis geformt werden (Grundmoränen), und zum anderen die, die am Gletscherrand entstehen (End- und Stauchendmoränen). Beide Formen setzen sich zum großen Teil aus Geschiebemergel zusammen.

**Grundmoränen** können als kuppige Hügel oder als relativ flache Erhebungen ausgebildet sein. Flache Grundmoränen entstehen vor allem dann, wenn das Gletschereis aufgrund von steigenden Temperaturen abschmilzt, ohne dass sich der Gletscher stark bewegt. Dabei wird das Gesteinsmaterial im Gletscher beim Schmelzen auf dem Untergrund abgelegt. Kuppige Grundmoränen hingegen entstehen vor allem dann, wenn sich der Gletscher schnell bewegt. Als Folge der schnellen Bewegung bildet sich die Gletscherunterseite als eine sehr unebene Fläche mit zahlreichen kleinen und großen Quer- und Längsspalten aus. Diese Unebenheiten verstärken die modellierende Wirkung eines Gletschers auf seinen Untergrund. An manchen Stellen wird durch den hohen Druck des überlagernden Eises Bodenmaterial nach oben in die Gletscherhöhlräume gedrückt. An anderen Stellen räumt der Gletscher große Vertiefungen aus. Nach dem Abschmelzen bleibt dann eine kuppige Grundmoränenlandschaft zurück.

Doch nun zu den **End- und Stauchmoränen**, die nicht unter dem Gletscher, sondern am Gletscherrand entstehen. Die Endmoräne wird durch das Gesteinsmaterial aufgebaut, das sich im Gletschereis befindet und das beim Abschmelzen vor dem Gletscherrand liegen bleibt. Auch bei den Alpengletschern oder den Gletschern auf Island können diese Endmoränen sehr gut studiert werden. Je länger der Gletscherrand an einer Position verharrt, desto größer wird der Endmoränenwall. Temperaturschwankungen bewirken jedoch, dass Eisbildung und Eisschmelzen nicht immer im Gleichgewicht stehen, so dass ein Gletscherrand sich vor- und

zurückbewegt. Dabei kann es sein, dass er beim Vorschieben seine eigene Endmoräne zusammenstaucht. Sie wird dann Stauchendmoräne genannt und ist meist größer als die nicht gestauchten Endmoränen. Ein Beispiel für eine Stauchendmoräne in Schleswig Holstein sind die Hüttener Berge mit einer Höhe von 106 m ü. NN.

### **Sander**

Als Sander bezeichnet man ebene Flächen, die sich vor den Gletschern befinden und große Ausmaße annehmen können. Wie der Name es uns schon verrät, sind Sander vorwiegend aus Sand aufgebaut, der über zahlreiche Schmelzwasserflüsse vom Gletscher herantransportiert und, wie im Abschnitt „Sand und Kies“ beschrieben, abgelagert wird.

### **Urstromtäler**

Es wurde bereits häufig darauf hingewiesen, dass im Zehrgebiet gewaltige Mengen Schmelzwasser auftreten. In Norddeutschland floss das Wasser der letzten Eiszeit zunächst senkrecht vom Gletscherrand durch die Sanderflächen in Richtung Südwesten ab. Da in Niedersachsen die relativ hohen Moränen der vorigen Eiszeiten ein weiteres südwärts gerichtetes Fließen verhinderten, änderte sich die Fließrichtung nach Nordwesten in die Nordsee. Das nun entstandene Elbetal nahm, wie ein riesiger Entwässerungsgraben, sämtliche Schmelzwässer auf und verbreiterte sich zusehends. Solche großen Ströme, die das Schmelzwasser einzelner Flüsse sammeln und in die Meere führen, werden als Urstromtäler bezeichnet. Im Vergleich zu den Wassermassen, die das Elbetal während der letzten Eiszeit ausfüllten, ist die heutige Elbe ein kleines Rinnsal.

## **Tunneltäler**

Das Schmelzwasser, das sich unter dem Eis in großen Flüssen sammelt steht unter hohem Druck, denn es kann sich aus Platzgründen nicht zu den Seiten ausbreiten. Als Folge ist die Fließgeschwindigkeit entsprechend hoch, wodurch vom Boden viel Material mitgerissen wird und sich der Fluss stark in den Untergrund vertieft. Diese teilweise kilometerlangen Rinnen bleiben oft auch nach dem vollständigen Rückzug des Eises erhalten und werden Tunneltäler genannt. Beispielsweise stellt die langgestreckte Vertiefung zwischen der Ostsee und Schleswig, in der heute die Schlei fließt, ein solches Tunneltal dar.

## **Toteislöcher**

Toteislöcher entstehen nach dem „Rückzug“ des Gletschers. Das Wort „Rückzug“ muss in Anführungsstriche gesetzt werden, da das Eis sich nicht wirklich zurückzieht, sondern lediglich mehr Eis schmilzt als neues herangeführt wird. Das Eis schmilzt jedoch nicht gleichmäßig. Kleine bis sehr große Reste bleiben im Vorland eines sich „zurückziehenden“ Gletschers übrig und werden von Sand um- und überschüttet. Dieser Sand isoliert den Eiskörper zusätzlich, so dass er erst wesentlich später abschmilzt und dabei eine wassergefüllte Hohlform hinterlässt. Die Größe dieser Toteislöcher reicht von wenigen Metern bis hin zu einigen Kilometern. Der Plöner See z. B. ist stellenweise sehr tief. Diese Vertiefungen sind nur dadurch zu erklären, dass Toteis den Raum über eine längere Zeit ausgefüllt und eine Auffüllung mit Schmelzwassersanden verhindert hat.

## Förden

Entlang der schleswig-holsteinischen Ostseeküste trifft man immer wieder auf langgestreckte Buchten, die teilweise tief ins Land reichen. Besonders deutlich wird dies bei der Flensburger Förde, der Eckernförder Bucht und der Kieler Förde. Diese Vertiefungen wurden ebenfalls durch das Eis geformt. In ihnen lagen während der letzten Phasen der Weichselvereisung Gletscherzungen, die den Untergrund modellierten und seitlich der Förden große Endmoränen aufschütteten. Mit dem Anstieg des Meeresspiegels nach den Eiszeiten wurden die länglichen Vertiefungen geflutet, und das Resultat sind die heutigen Förden.

## 4. Was kam nach der letzten Eiszeit ?

Die Landschaft Schleswig-Holsteins wurde im Wesentlichen durch die Gletscher der Eiszeiten geformt. Seit dem Abschmelzen des letzten Eises finden jedoch zwei Prozesse statt, die diese eiszeitliche Landschaft bis heute verändern.

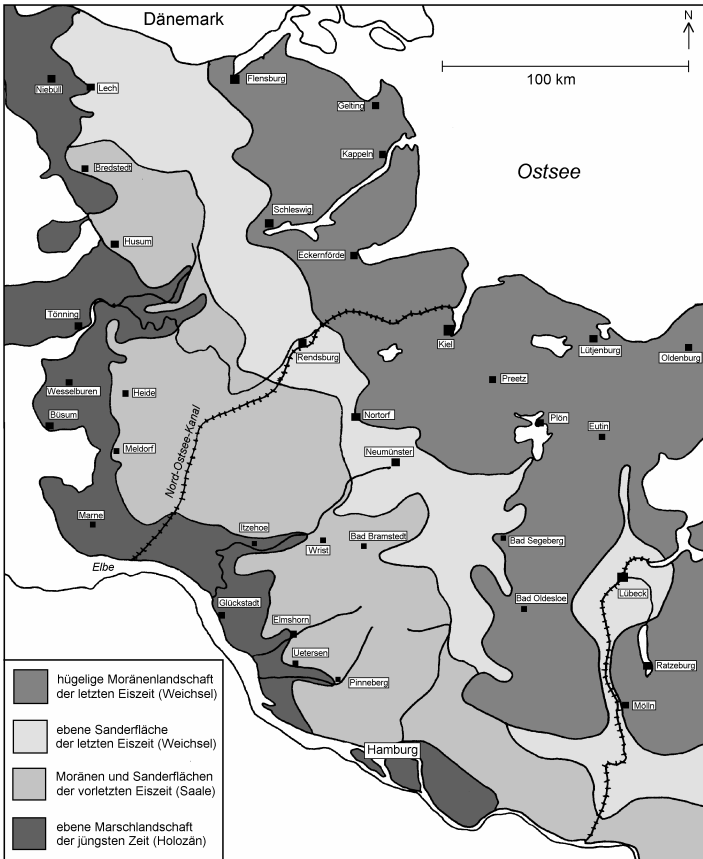
Zum einen setzten die im ersten Abschnitt dieses Buches erläuterten Prozesse wie **Verwitterung**, **Abtragung** und **Bodenbildung** ein. Vor allem in der ersten Phase der Nacheiszeit, als die Vegetation nur spärlich wuchs, wurde mit jedem Regenschauer und mit jeder größeren Windbö Gesteinsmaterial von den Hügeln in die Senken transportiert. Doch mit der ersten Vegetation, die sich an den Hängen der Hügel ausbreitete, wurde dieser Vorgang verlangsamt, und der Prozess der Bodenbildung setzte ein. Nach und nach bildete sich ein humoser Oberboden, der die Voraussetzung für weitere Pflanzen und Tiere schuf. In wasserreichen Gebieten und abflusslosen Senken entwickelten sich weit ausgedehnte Moore.

Zum anderen findet eine Veränderung der Landschaft entlang der Nordseeküste statt. Das Abschmelzen der großen Eismassen im Zuge einer globalen Erwärmung hatte einen **Anstieg des Meeresspiegels** und damit ein Zurückweichen der Küstenlinie zur Folge. Aus ehemaligem Festland wurde Meeresboden und bis heute setzt sich diese Entwicklung fort, da sich der norddeutsche Raum zusätzlich absenkt. Vor allem die der Küste vorgelagerten Inseln unterliegen einem ständigen Abtrag durch nordwärts gerichtete Meeresströmungen. Das in diesen Meeresströmungen transportierte Sediment wird an anderer Stelle wieder abgelagert. So kann man auf der dänischen Insel Röm den Sand wiederfinden, der ehemals von der Insel Sylt stammt. Alles ist in Bewegung, und auch zwischen den Inseln und dem Festland ist ein interessanter Prozess zu beobachten. Geschützt vor den starken Meeresströmungen findet hier eine Sedimentation statt, die mit dem Meeresspiegelanstieg gleichzieht. Der entscheidende Motor dieser Sedimentation ist die Tide. Zweimal am Tag strömt Meerwasser durch die Priele in die küstennahen Bereiche. Dieses Wasser führt feine Schwebstoffe mit sich, die im ruhigen Milieu abgelagert werden. Zusätzlich bildet sich im flachen Wasser eine große Menge Plankton und Algen, die ebenfalls die Sedimentationsrate erhöhen. Nach und nach siedeln sich Pflanzen wie Queller, verschiedene Gräser und Schilf an, und es entsteht eine Landschaft, die nur noch kurze Zeit bei Hochwasser überflutet wird. Entlang der Nordseeküste hat sich ein breiter Streifen einer solchen tief liegenden Landschaft gebildet, die als **Marsch** bezeichnet wird. Infolge von Eindeichungen werden diese Flächen heute nicht mehr überflutet und können überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden. Der organikreiche, tonige Boden dieser Landschaft wird **Klei** genannt.

## 5. Schleswig-Holstein - ein geologisches Streifenmuster

Als Folge der geologischen Geschichte Schleswig-Holsteins ergibt sich heute ein Bild der verschiedenen Landschaftsformen, das als nordwest-südost orientiertes Streifenmuster beschrieben werden kann (siehe Abb. 7). Vereinfacht sind vier grundsätzlich verschiedene Regionen zu nennen:

- Im Nordosten Schleswig-Holsteins, entlang der Ostseeküste, erstreckt sich das sogenannte **östliche Hügelland**. Dieses Gebiet wird durch Grund- und Endmoränen der letzten Eiszeit (Weichsel) dominiert. Der Boden wird zum großen Teil aus Geschiebelehm/-mergel aufgebaut, der an der Oberfläche zu Parabraunerden verwittert ist. Das östliche Hügelland beschreibt gleichzeitig den Bereich, der während der letzten Eiszeit von Gletschereis bedeckt war.
- Nach Südwesten anschließend befindet sich ein Streifen, der sich als flache Ebene darstellt. Diese Ebene ist die **Sanderfläche** des Gletschereises, das zur Weichselzeit das heutige östliche Hügelland bedeckte. Die Sandschüttungen der Gletscherflüsse, die diesen Streifen durchströmten, haben jede Vertiefung ausgefüllt und dadurch die Landschaft eingeebnet. Aufgrund des hohen Grundwasserspiegels haben sich hier in der nachfolgenden Warmzeit große Moore gebildet. Der Übergang von der hügeligen Moränenlandschaft in die ebenen Sanderflächen wird dem aufmerksamen Beobachter vor allem auf der Autobahn von Kiel nach Neumünster deutlich. Auf Höhe der Abfahrt Blumenthal fährt man noch mitten durch die hügelige Moränenlandschaft, doch dann geht es bergab, und beim Bordesholmer Dreieck befindet man sich bereits in der Sanderfläche.



**Abb. 7:** Aus geologischer Sicht stellt sich Schleswig-Holstein als ein nordwest-südost orientiertes Streifenmuster dar.

- Die Sandschüttungen der letzten Eiszeit reichten jedoch nicht bis zur Nordsee, so dass sich nach Südwesten ein Streifen anschließt, der durch große Moränen und kleinere Sanderflächen der vorletzten Eiszeit (Saale) gebildet wird. Die Erhebungen dieser **Altmoränenlandschaft** sind teilweise sehr großräumig, jedoch aufgrund der länger wirkenden Abtragung flacher ausgebildet als die jungen weichselzeitlichen Moränen des östlichen Hügellandes.

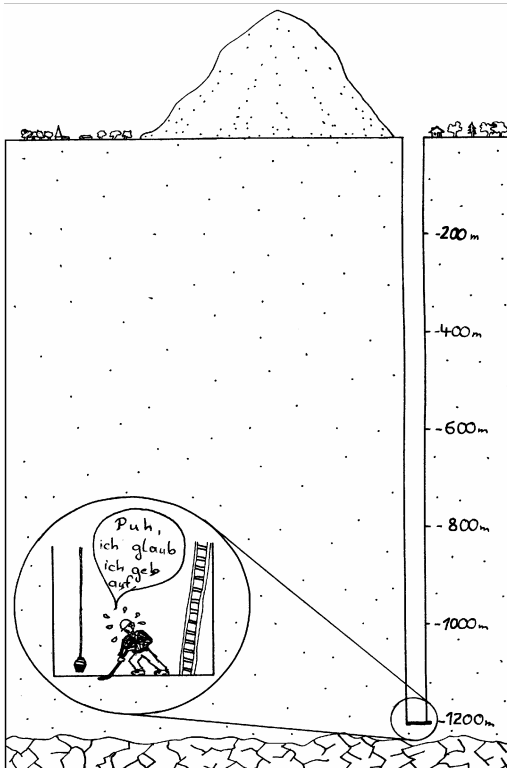


- Der westlichste Streifen, die **Marschlandschaft**, zeichnet sich wiederum durch eine flache Ebene aus und ist dadurch gut von der Altmoränenlandschaft zu trennen. Dieses ehemalige Überflutungsgebiet entstand erst in den letzten Jahrtausenden.

## 6. Ein Blick in die Tiefe

Instinktiv treibt es den Geologen in die Tiefe, um auf diese Weise eine Reise durch die Erdgeschichte zu unternehmen. Dabei gelangt er mit zunehmender Tiefe in immer

ältere Schichten. Wir nehmen uns jetzt einen Spaten zur Hand und fangen an zu graben:



In den ersten 50 bis 200 m finden wir die in den vorigen Kapiteln beschriebenen **Ablagerungen der Eiszeiten**.

Darunter beginnen die Sedimente des **Tertiärs**, das vor 65 Millionen Jahren begann und vor 1,8 Millionen Jahren endete. Diese Sedimente reichen bis ca. 1300 m Tiefe und bestehen im oberen Teil aus Sanden und mit zunehmender Tiefe aus Tonen. Die Sande entstammen einem gewaltigen Flusssystem, das sich

**Abb. 8:** Wer in Schleswig-Holstein auf der Suche nach Festgesteinen ist, muss meist tief graben.

von Skandinavien bis in den Bereich der heutigen Nordsee erstreckte. Dabei ist zu bedenken, dass es die Ostsee zu damaliger Zeit noch nicht gab. Die Tone wurden abgelagert, als Schleswig-Holstein von Meeren überflutet war.

Bei ca. 1300 m Tiefe haben wir es endlich geschafft und treffen auf die ersten **Festgesteine**. Es sind Kalkablagerungen aus der **Kreidezeit** (145 - 65 Millionen Jahre vor heute). Diese Grenze zwischen Kreide und Tertiär ist der Zeitpunkt, an dem die Dinosaurier ausgestorben sind und langsam die Säugetiere an Bedeutung gewannen. Während der Kreidezeit lag der Meeresspiegel sehr hoch und große Flächen, unter anderem auch Schleswig-Holstein, waren von einem Meer bedeckt. In dem relativ warmen Meerwasser fühlte sich eine bestimmte Art kalkiges Plankton sehr wohl und trat daher in großen Mengen auf. Das tote Plankton sank zu Boden und bildete so die ca. 800 m mächtigen Kalkablagerungen.

Bei ca. 2100 m Tiefe treffen wir auf Ablagerungen aus dem **Jura** ( 210 - 145 Millionen Jahre vor heute). In dieser Periode war Schleswig-Holstein nur teilweise von Meerwasser bedeckt. Entsprechend finden wir sowohl Sandablagerungen als auch organikreiche Tone. Wegen der großen Tiefe sind die Sandablagerungen zu festen Sandsteinen verbacken, und aus den organischen Bestandteilen der Tone wurde **Erdöl**, das heute an verschiedenen Stellen Norddeutschlands gefördert wird.

Die **Trias** ( 245 - 210 Millionen Jahre vor heute) erreichen wir bei ca. 2700 m Tiefe. In der Mitte dieser Zeiteinheit lag der Meeresspiegel sehr hoch und Schleswig-Holstein war wieder einmal von einem Meer bedeckt. Zu Beginn und am Ende der Trias jedoch überwogen küstennahe und kontinentale Sandablagerungen. Die Sandablagerungen sind teilweise sehr mächtig, so dass wir einige Zeit brauchen, um auf die nächste Epoche zu stoßen.

Bei ca. 4500 m Tiefe stoßen wir auf **Salz** aus dem **Perm** (290 - 245 Millionen Jahre). In dieser Zeit befand sich im Bereich Norddeutschlands eine meerwassergefüllte

Senke, die von Landmassen umgeben war. Nur nach Norden gab es eine kleine Öffnung, die eine Verbindung zwischen der Senke und dem „Nordmeer“ darstellte. Da Norddeutschland zu dieser Zeit auf Höhe des Äquators lag, waren die Temperaturen entsprechend hoch. Infolge einer regelmäßigen Schließung der Meeresverbindung nach Norden wurde das Meerwasser der Norddeutschen Senke mehrmals eingedunstet und hinterließ die bis zu 1000 m mächtigen Salzablagerungen. Diese Salze sind im Vergleich zu den bereits besprochenen überlagernden Sedimenten jedoch sehr leicht. Die Folge ist, dass das Salz entlang länglicher Störungszonen an die Erdoberfläche drängt und auf diese Weise die überlagernden Schichten nach oben drückt. Diesem Vorgang haben wir es zu verdanken, dass bei Lägerdorf die Kalkablagerungen der Kreidezeit in einer offenen Grube abgebaut werden können und dass in Bad Segeberg ein Felsen aus Gips bestiegen werden kann. Das Männchen aus Abb. 8 hätte also nur an die richtige Stelle gehen müssen, um auch in Schleswig-Holstein an der Oberfläche auf Festgestein zu treffen.

Unter den Salzablagerungen befinden sich Schichten mit teilweise sehr dicken Lavadecken, die uns zeigen, dass es in Schleswig-Holstein ehemals **Vulkane** gab.

An dieser Stelle sollten wir unsere Grabung beenden, denn in der erreichten Tiefe von ca. 7000 m haben wir bereits mit Temperaturen von 200° C zu kämpfen. Für alle diejenigen, die trotzdem wissen wollen, wie es weiter unten aussieht, sei lediglich gesagt, dass sie bis zum Erreichen des ersten zähflüssigen Magmas noch ca. 100 000 m tief graben müssen.