



„ES WAR EINMAL VOR UNFASSBAR LANGER ZEIT ...“ - DIE GEOLOGISCHE ENTWICKLUNG BORNHOLMS

Von Mark Keiter und Udo Zimmermann

Bornholm hat es in sich. Wer würde schon auf den ersten Blick vermuten, dass diese kleine unscheinbare Insel in der Ostsee eine Äonen lange geologische Geschichte zu erzählen hat. Auf engstem Raum findet man hier Gesteine, die sagenhafte 1,7 bis 1,9 Milliarden (ich wiederhole: Milliarden) Jahre auf dem Buckel haben. Dazu noch 500 Millionen Jahre alte Sedimentgesteine, die von der Frühzeit des mehrzelligen Lebens künden - bis hin zu eiszeitlichen Ablagerungen, die kaum 20.000 Jahre alt sind. Die paar Millionen Jahre, die der Mensch bisher auf der Erde weilt, verblassen angesichts dieser Zeiträume zu einer kurzen Randnotiz.

ABGRUNDTIEF IN DER VERGANGENHEIT DER ERDE: DIE GRANITE UND GNEISE

Bornholm liegt am südlichen Rand einer uralten kontinentalen Platte, dem sogenannten Baltischen Schild. Der Baltische Schild ist der älteste Kern dessen, was wir heute Europa nennen und existiert schon seit einigen Milliarden Jahren. Vor etwa 1,5 Milliarden Jahren spielte sich in der Gegend des heutigen Bornholms eine Gebirgsbildung ab - das heißt eine Kollision von Kontinentfragmenten. Ältere Granite wurden im Zuge dieser Auffaltung durch enormen Druck und große Hitze verformt und zu Gneisen umgebildet. Diese Gneise mit ihrem typischen Parallelgefüge bilden heute den Hauptteil der Insel (siehe Karte). Gegen Ende der Gebirgsbildung vor knapp 1,4

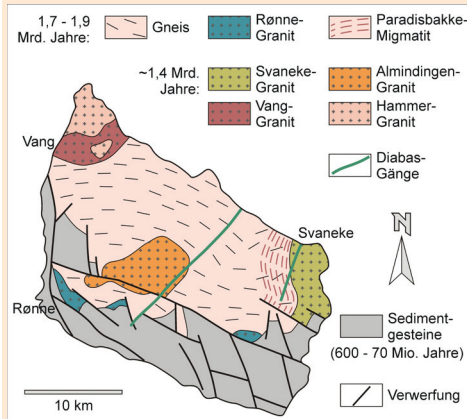
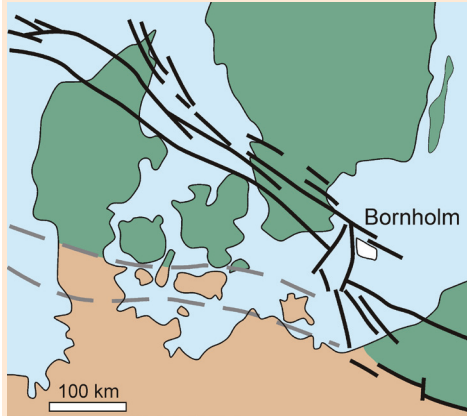
"ONCE UPON A VERY LONG TIME ..." - THE GEOLOGY OF BORNHOLM

by Mark Keiter and Udo Zimmermann

Bornholm rocks. Literally. Who would think, at first glance, that this small island in the Baltic Sea looks back on an aeon-long geological history? On Bornholm, rocks can be found that are 1.7 to 1.9 billion (repeat: billion) years old. Sedimentary rocks can also be found telling us tales from the dawn of multicellular life 500 million years ago, all the way through to deposits from the last ice age, less than 20,000 years before our time. The few million years of human existence are just a marginal note in the face of such tremendous timescales.

DEEP INTO THE PAST: THE GRANITES AND GNEISSES OF BORNHOLM

Bornholm is located at the southern margin of an ancient continental plate, the so-called Baltic Shield. The Baltic Shield developed several billion years ago and is the oldest core of what we call Europe today. About 1.5 billion years ago, Bornholm was involved in an orogeny - a collision of continental fragments that produced a mountain range. In the immense heat and pressure of this process, older granites were deformed and recrystallized into gneisses. These gneisses with their typical parallel texture are the dominant rock type on Bornholm (see map). When the pressure of the mountain-building subsided 1.4 billion years ago, molten rock from deep down in the crust intruded into those gneisses and formed another



Blick in den Untergrund: Beginnend tief in Polen, durch die Ostsee und Dänemark in die Nordsee verlaufend, trennt eine gewaltige Störungszone zwei sehr unterschiedliche Teile Europas voneinander. Entlang der sogenannten Tornquist-Zone verläuft die Grenze zwischen dem Milliarden Jahre alten skandinavischen Block (grün) und dem mitteleuropäischen Block (orange), der erst sehr viel später - vor ungefähr 400 Millionen Jahren - entstand. Bornholm liegt auf einem Zweig dieses Störungssystems und verdankt ihm auch seine Form.

In Dänemark, Deutschland und Polen sind die uralten Gesteine kilometertief unter jüngeren Sedimenten begraben. In Norwegen, Schweden und auf Bornholm treten sie zutage. Die fingerartige Verzweigung der Tornquist-Zone unterhalb der Ostsee hat dazu geführt, daß Geologen sie manchmal mit einem poetischen Namen bedachten: "Tornquist's Hand".

A glance into the depths of time: Beginning in Poland, and running through the Baltic Sea and Denmark into the North Sea, a giant fault zone marks the seam along which the ancient Scandinavian crust (green) and the much younger Central European crust (orange) have been welded together - the Tornquist Zone. Bornholm lies on a branch of this fault zone and its shape is directly related to the structures underground. In Denmark, Germany and Poland the old crystalline rocks are buried beneath several kilometers of younger sediments. In Norway, Sweden - and on Bornholm - they are outcrops on the surface. The branching out of the Tornquist Zone like fingers on a hand has brought out the poet in some geologists, colloquially also calling it "Tornquist's Hand".

Geologische Karte von Bornholm nach T. Jørgart (Universität Roskilde).

Der Gneis, der den Hauptteil der Insel aufbaut, hat einen deutlichen Lagenbau. Für Geologen ist so ein Lagenbau ein untrügliches Zeichen, dass das Gestein einem starken gerichteten Druck ausgesetzt war, wie er bei Gebirgsbildungen vorkommt. Der Lagenbau des Paradisbakke-Migmatits ist allerdings etwas Besonderes: er entstand durch teilweise Aufschmelzung des älteren Gneises - wahrscheinlich durch die Hitze des eindringenden Svaneke-Granits.

Die Sedimentgesteine, die den Südtel der Insel bedecken, sind wie die Seiten eines Buches. Sie sind teilweise sehr reich an Fossilien und erzählen eine fast lückenlose Geschichte vom Beginn des mehrzelligen Lebens auf der Erde bis hin zur Zeit der Dinosaurier.

Geological map of Bornholm, by T. Jørgart (University of Roskilde).

The gneisses making up the main part of the island have a strong parallel texture - for geologists this is a clear sign that the rocks have been affected by strong directed pressure, as it occurs during the process of mountain formation. The parallel texture of the Paradisbakke Migmatite is, on the other hand, something special as it has a different cause. It developed owing to a partial melting of the already existing gneiss - most probably from the intense heat of the magma, which today forms the Svaneke Granite.

The sedimentary rocks in the southern part of Bornholm are like the pages of a book. In places they are full of fossils and tell the story of life and evolution - almost from the beginning of multicellular life up until the time of the dinosaurs.

Endzeitalter	Millionen Jahre vor heute
Quartär	2
Tertiär	
70	
Kreide	
140	
Jura	
200	
Keuper	
Trias	
Muschelkalk	
250	
Buntsandstein	
Zechstein	
Perm	
300	
Rotliegendes	
Karbon	
360	
Devon	
400	
Silur	
440	
Ordovizium	
500	
Kambrium	
570	
Präkambrium	
3500	

Milliarden Jahren drangen erneut granitische Schmelzen in die Gneise ein.

Schaut man sich Bornholm auf der Karte an, dann fällt sofort die eckige Form auf. Die Umriss der Insel sind geprägt von geraden, nahezu parallel verlaufenden Küstenlinien. Der Grund dafür sind tief reichende Brüche in der Erdkruste. Bornholm liegt auf einem Seitenzweig der sogenannten Tornquist-Zone. Das ist eine gewaltige Störungszone im Untergrund, die sich von Polen quer durch die Ostsee und Dänemark bis in die Nordsee erstreckt. Sie markiert im Wesentlichen den Übergang vom uralten Baltischen Schild zum geologisch wesentlich jüngeren Rest von Europa.

Nicht nur die Küsten sind durch diese Verwerfungen geprägt, auch das Inland ist von einem Gitternetz von Störungen durchzogen. Wie alt diese Verwerfungen wirklich sind, erkennt man eindrucksvoll an den Diabas-Gängen, die auf Bornholm an vielen Stellen die Granite durchschlagen. Diabase sind ehemalige vulkanische Gesteine. Das Magma wählte sich vor über einer Milliarde Jahren den Weg des geringsten Widerstands: entlang der bereits vorhandenen Klüfte und Verwerfungen. Die wichtigste Bruchlinie - auch landschaftlich gesehen - verläuft von Hasle über Knudsker, Aakirkeby bis zum Hallefelsen nördlich Nexø. Nördlich dieser Linie tritt der kristalline Untergrund mit seinen Gneisen, Graniten und Diabasgängen zutage, südlich davon ist er abgesunken und von jüngeren paläozoischen und mesozoischen Sedimentgesteinen bedeckt: Kiese, verschiedene Sandsteine, Tone, Kalksteine, und andere Gesteine (siehe unten). In direktem Zusammenhang mit der oben beschriebenen Bruchtektonik steht auch eine weitere geologische Besonderheit auf Bornholm: die Spaltentäler oder Sprækkedale. Stark zerklüftete Bereiche oder Verwerfungen im Granit oder Gneis boten gute Angriffsflächen für die Verwitterung - zum Beispiel durch Grundwasser, Eis oder Schmelzwasser. So entstanden in ganz Nordbornholm bis zu 10 Meter tiefe, sehr gerade Täler mit steilen Flanken.

generation of granites.

Looking at the map, it is immediately apparent that Bornholm looks a bit like a brick. The shape of the island is dominated by straight, almost parallel coastlines. The reason for this is a system of deep cracks in the earth's crust. Bornholm lies on the branch of a large-scale tectonic fault, the so-called Tornquist Zone. This fault zone is immense - it reaches from Poland through the Baltic Sea and Denmark right into the North Sea. It basically marks the line where the younger parts of Europe have been welded to the ancient Baltic Shield.

Not only the coastlines are shaped by these faults - the whole island is broken into several blocks separated by a closely-spaced grid of fractures. These faults are old. They were already there over a billion years ago, when magma rose from the deep and dolerite dykes intruded into the granites (see map). Dolerite is a volcanic rock - basically a basalt. Several hundred million years before the rest of Europe was even formed, the magma followed the path of least resistance on its way through the crust - right along the fault lines.

The most prominent fault line runs straight through the island: from Hasle through Knudsker and Aakirkeby to the Halle rocks north of Nexø. North of this line, the crystalline basement crops out: gneisses, granites and dolerite dykes. The block lying south of this line has sunk and is covered with younger sedimentary rocks: conglomerates, different sandstones, mudstones and limestones.

Another striking feature of the Bornholm landscape is also directly related to the tectonic faults described above: the column valleys (Danish: Sprækkedale). As one can imagine, faults and fractures in the ground are weak zones. The rock is fragmented, sometimes even milled down to fine dust when movement along such faults takes place. Naturally, this is where weathering and erosion can easily attack. 'Selective erosion' by rainwater, groundwater or ice

Die bekanntesten Sprækkedale sind das Randkløve Skåret bei Østermarie und das Ekkodalen ("Echotal") - ein 13 km langes System von Spaltentälern im Almindingen.

DAS BUCH DES LEBENS - SEITE FÜR SEITE: DIE SEDIMENTGESTEINE BORNHOLMS

Verglichen mit den Graniten und Gneisen sind die Sedimentgesteine, die den Süden von Bornholm bedecken, beinahe „Jugendliche“. Die allermeisten von ihnen sind allerdings immer noch erheblich älter als fast alle Gesteine, die den Rest von Europa bilden.

Bereits vor 600 Mio. Jahren, als in den Meeren erste vorsichtige Schritte vom Einzeller hin zu komplexeren Lebewesen gemacht wurden, war die Abtragung des uralten Gebirges durch Verwitterungsprozesse so weit fortgeschritten, daß die tieferen Teile des kristallinen Fundamentes - also die Gneise und Granite - die Oberfläche erreicht hatten. Ihr Verwitterungsschutt wurde transportiert, zerkleinert und im heutigen Gebiet um Nexø als rötlicher Nexø-Sandstein abgelagert.

Während des Kambriums vor immer noch über 500 Millionen Jahren, als die Evolution erste Schalen tragende Lebewesen hervorbrachte, wurden dann weitere Sedimente - jeweils unter sehr unterschiedlichen Bedingungen - abgelagert. Sandsteine wie der Balkan- und der Rispebjerg-Sandstein zeigen flaches Wasser an, Schiefer - also ehemalige feinkörnige Tonsteine, lagerten sich in tieferem, stillem Wasser ab. Im Ordovizium (vor 488-443 Millionen Jahren) und Silur (vor 443-416 Millionen Jahren) lagerten sich zunächst schwarze Schiefer ab. Diese wurden schlussendlich von Kalksteinen der Komstad-Serie überlagert, in denen sich hervorragend erhaltene Fossilien finden, insbesondere Trilobiten (Dreilapp-Krebse), Muscheln und

grind down into these areas more easily, while the intact rocks outside of the fault are much more resistant. As a result, across Bornholm very straight valleys with almost vertical flanks developed. The most famous Sprækkedale are the Randkløve Skåret near Østermarie and the 13 km long system of valleys called Ekkodalen ("Echo dale") in Almindingen.

THE BOOK OF LIFE - PAGE BY PAGE: THE SEDIMENTARY ROCKS OF BORNHOLM

Compared to the granites and gneisses, the sedimentary rocks covering the South of Bornholm, are almost "youngsters". Most of them, however, are still significantly older than most of the rocks found in the rest of Europe. As early as 600 million years ago, while the first careful steps towards complex life were made in the oceans, erosion of the ancient Scandinavian crust was already far advanced. Deep parts of the gneiss and granite crystalline basement were exposed at the surface. The debris from their weathering was transported by water and milled down to sand. This is the main ingredient of the reddish sandstone that we can find in the area around Nexø.

During the Cambrian period, still more than 500 million years ago, evolution had developed the first organisms with hard shells. On Bornholm, this period was characterized by constantly changing sea levels. Sandstones like the Balkan- and the Rispebjerg Sandstone indicate shallow water, whereas layers of very fine-grained mudstones developed in still water deep below sea level.

In the Ordovician (488-443 million years ago) and Silurian (443-416 million years ago) periods the dominant rocks were shales. On top of these, the Komstad limestone was deposited. This limestone is rich in very well-preserved fossils, especially

Erdzeitalter Millionen Jahre vor heute	
Quartär 2	
Tertiär	
70	
Kreide	
140	
Jura	
200	
Keuper Trias Muschelkalk 250	
Buntsandstein	
Zechstein Perm 300	
Rotliegendes	
Karbon	
360	
Devon	
400	
Silur 440	
Ordovizium	
500	
Kambrium	
570	
Präkambrium	
3500	

Brachiopoden (Tiere mit muschelähnlichen Schalen, die aber eine völlig eigenständige Tiergruppe darstellen).

Nach einer mehr oder weniger durchgehenden Sedimentationspause (Bornholm lag seinerzeit oberhalb des Meeresspiegels) setzte erst im Erdmittelalter mit einem erneuten Meeresvorstoß während der Trias (vor 251-200 Millionen Jahren) die Ablagerung von Kalksteinen (Skelbro) sowie roten und grünen Tonsteinen ein. Jurazeitliche Ablagerungen (vor 200-145 Millionen Jahren) finden sich in Galløken, südlich Rønnes. Während der Kreidezeit (vor 145-65 Mio. Jahren) lagerten sich ebenfalls verschiedene Sedimente ab, wie zum Beispiel die fossilreichen Kalke von Arnager. Außerdem gibt es auf Bornholm kleine Vorkommen von Schreibkreide - dieselbe wie auf Rügen und im englischen Dover. Das zeigt eindrucksvoll, wie stabil die Ablagerungsbedingungen in der Kreidezeit über große Distanzen gewesen sein müssen.

DER LETZTE WIMPERNSCHLAG: EISZEITLICHE ABLAGERUNGEN UND DIE ENTSTEHUNG DER OSTSEE

Als sich während der letzten 2 Millionen Jahre mehrmals kilometerdickes Eis über Bornholm hinweg wälzte, schloß es die Granit- und Gneisfelsen fast überall zu rundlichen Höckern ab - eine sehr typische Landschaftsform, die man überall in Südkandinavien sieht. Auch andere Spuren der quartären Eiszeiten sind auf der ganzen Insel deutlich sichtbar. Im Süden prägen wellige Moränen, also Gletscherschutt-Ablagerungen, das Landschaftsbild. Küstennahe Kiesterrassen oder auch die feinen Flugsande von Dueodde sind Bildungen, die nach dem Abschmelzen der letzten Inlandvereisung entstanden sind. Ebenfalls durch das Eis herantransportiert sind die zahlreichen Findlinge, große vom Eis rundgeschliffene Gesteinsblöcke aus dem Herkunftsgebiet des Eises im Norden von Skandinavien. Der größte und bekannteste ist sicherlich der Rokkesten

trilobites (a group of crustacean), clams and brachiopods. The latter had clam-like shells, but are in fact a completely stand-alone group of animals.

After the end of the Silurian, sedimentation stopped for a long period, caused by the fact that Bornholm lay above sea level. Only much later, during the Triassic (250-200 million years ago), did Bornholm sink below sea level once again and limestones (near Skelbro), as well as red and green mudstones were deposited. Jurassic sediments (200-145 million years old) can be found near Galløken, south of Rønne. During the Cretaceous (145-65 million years ago), different sediments were deposited, for example the fossil-rich limestones of Arnager. From close to the end of the Cretaceous we can find a thin layer of chalk - the same chalk that makes up the white cliffs of Dover and the island of Rügen. A striking example of how stable the depositional environment was over large distances.

THE LAST FLEETING MOMENTS: ICE AGE DEPOSITS AND THE HISTORY OF THE BALTIC SEA

Several times over the last two million years Bornholm has been overridden by kilometer-thick glaciers. These glaciers polished the surface rocks of Bornholm into low rolling hills - a landscape very typical for southern Scandinavia. Other traces of the Ice Age can also be found all over the island. In the south, the landscape is covered by low moraine hills from debris brought here by the glaciers. Gravel terraces, as well as the fine-grained, wind-transported sands of Dueodde were deposited shortly after the ice had melted. On its way from northern Scandinavia to Bornholm, the ice also brought along a large number of huge boulders, called "erratic blocks". The largest and best-known block is definitely the Rokkesten ("wobbling stone") in the Paradisbakkerne. This 35 ton hulk

(„Wackelstein“) in den Paradisbakkerne. Dieser etwa 35 Tonnen schwere Koloss wurde beim Abschmelzen des Eises quasi „abgelegt“ und kann noch heute leicht zum Wackeln gebracht werden.

Blickt man vom Gipfel der Felsen bei Hammeren beim Nachsichern verträumt in die Weite hinaus, dann blickt man auf ein geologisch extrem junges Meer. Seine Geschichte begann vor gerade einmal 15.000 Jahren in der abklingenden Eiszeit – zunächst als sogenannter Eisstausee. Die gewaltigen Inland-eismassen schmolzen langsam, riegelten aber gleichzeitig das Ostseebecken ab, so dass ein riesiger Süßwassersee entstand. Im Laufe der nächsten paar Tausend Jahre zog sich das Eis weiter zurück. Dadurch stieg gleichzeitig der globale Meerespiegel, aber die fehlende Eislast in Skandinavien führte auch zu Landhebungen. Das komplexe Zusammenspiel dieser unterschiedlichen Prozesse führte während der letzten 12.000 Jahre zu einem ständigen Wechsel zwischen Süßwasser-, Land- und Meeresbedingungen im Ostseebecken. Die schmale Verbindung zum offenen Meer – das Kattegatt – und die heutigen Brackwasserverhältnisse in der Ostsee, sind geologisch gesehen nur eine Momentaufnahme.

was laid down on a hard rock surface by the melting ice and can still be slightly rocked.

Sitting on the summit of the rocks near Hammeren, dreamily gazing out at the water while belaying one's partner, one is looking at a geologically extremely young Sea. Its history began only 15,000 years ago towards the end of the last Ice Age, at first as a so-called glacial lake. The massive amounts of ice were melting away slowly, but still abundant enough to block any connection to the open sea, so that a giant freshwater lake developed. Over the course of the next few thousand years, the ice retreated further, leading to global a sea-level rise. But at the same time Scandinavia, finally released from its heavy overburden of ice, was uplifted. On the last 12,000 years or so the complex interplay between these two processes led to constantly changing conditions in the Baltic Sea: from freshwater lakes, to dry land, to seawater conditions. The narrow connection to the open ocean, the Kattegatt, and the brackish water we have today are just a snapshot in time.



Klettern am Vang-Granit.
Climbing on Vang-Granite.
Life of the Quarrymen 7+.
© Anders Strange Nielsen

Endzeitalter Millionen Jahre vor heute	
Quartär 2	
Tertiär	
70	
Kreide	
140	
Jura	
200	
Keuper Trias	
Muschelkalk 250	
Buntsandstein	
Zechstein Perm	
300	
Rotliegendes	
Karbon	
360	
Devon	
400	
Silur	
440	
Ordovizium	
500	
Kambrium	
570	
Präkambrium	
3500	