

Die geologische Entwicklung der Nordschweiz im Erdaltertum : neue Erkenntnisse aus unserer Region

Autor(en): **Bitterli, Peter H. / Frank, Erik**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Brugger Neujaahrsblätter**

Band (Jahr): **97 (1987)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-900795>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Von Peter H. Bitterli und Erik Frank

Die geologische Entwicklung der Nordschweiz im Erdaltertum: Neue Erkenntnisse aus unserer Region

Über das kristalline Grundgebirge im tieferen Untergrund unserer Region war bis vor einigen Jahren nur wenig Konkretes bekannt, da ein dicker Stapel aus Sedimentgesteinen das Grundgebirge fast vollständig verhüllt. Umfangreiche geologische Untersuchungen, die auch Bohrungen einschlossen, haben nun in den vergangenen Jahren unsere Kenntnisse über das kristalline Grundgebirge wesentlich erweitert. Mit Hilfe dieser Erkenntnisse kann die Entstehung der kristallinen Gesteine und damit verbunden die erdgeschichtliche Entwicklung im Erdaltertum besser verstanden werden, als dies bis anhin möglich war. Im nachfolgenden Beitrag wird versucht, die erdgeschichtliche Entwicklung unserer Region im Erdaltertum aus dem Blickwinkel dieser neuen Erkenntnisse zu schildern.

1. Einleitung

Seit dem Jahre 1979 führt die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA) im Gebiet der Nordschweiz ein grossangelegtes erdwissenschaftliches Untersuchungsprogramm durch. Diese Arbeiten dienen dazu, unsere Kenntnisse über den geologischen Bau des Gebietes zu vervollständigen. Sie bilden eine wichtige Grundlage bei der Abklärung der Frage, ob im Gebiete der Nordschweiz geeignete Areale für die allfällige Errichtung eines Endlagers für radioaktive Abfälle vorhanden sind.

Die Arbeiten umfassen ein breites Spektrum erdwissenschaftlicher Untersuchungen und sind zur Zeit noch voll im Gang. Die Auswertung des umfangreichen Datenmaterials ist deshalb noch keineswegs abgeschlossen, trotzdem liegen aber bereits heute bemerkenswerte Resultate vor, die unsere Vorstellungen vom geologischen Bau der Region in vieler Hinsicht grundlegend ändern.

Die Autoren dieses Aufsatzes hatten Gelegenheit, im Rahmen der Aufsichtstätigkeit des Bundes (Hauptabteilung für die Sicherheit der

Kernanlagen, 5303 Würenlingen) diese Arbeiten mitzuverfolgen und in die Fülle der Daten Einsicht zu nehmen. Im nachfolgenden Aufsatz schildern wir die erdgeschichtliche Entwicklung der Nordschweiz, so wie sie sich im Lichte der neuen Erkenntnisse darstellt. Um den gegebenen Rahmen nicht zu sprengen, beschränken wir unsere Ausführungen auf den Zeitraum des Erdaltertums. Es ist aber vorgesehen, die jüngeren Epochen der Erdgeschichte in einem weiteren Aufsatz im kommenden Jahr darzustellen. Da sich im Text Fachausdrücke nicht immer vermeiden liessen, ist im Anhang ein Glossar der wichtigsten Ausdrücke beigelegt.

Der Nagra, insbesondere Herrn Dr. W.H. Müller, der uns zahlreiche Abbildungen zur Verfügung stellte, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

2. Die Bildung des Grundgebirgsrahmens: Sedimente werden zu Gneisen

Will der Geologe die Erdgeschichte längst vergangener Zeiten ergründen, so muss er in den Gesteinen jener Epoche Indizien suchen, die ihm die Rekonstruktion der geographischen Situation und der Ablagerungsräume jener Zeit ermöglichen. Für die jüngeren Epochen der Erdgeschichte findet sich solche Information reichlich in den Sedimentgesteinen, beispielsweise in Form sedimentärer Strukturen oder fossiler Reste der einstmaligen Pflanzen- und Tierwelt. Diese erdgeschichtlichen Dokumente erlauben in vielen Fällen eine präzise Rekonstruktion der damaligen Ablagerungsräume und der Umweltbedingungen.

Für die unermesslich weit zurückliegenden Zeiträume des Präkambriums und des frühen Paläozoikums (vgl. Tab. 1) sind aber nur ausnahmsweise unversehrte Sedimentgesteine erhalten geblieben. Mannigfaltige Umwandlungen haben die seinerzeit verankerte Information verwischt oder gar ausgelöscht, so dass eine paläogeographische Analyse mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist. Zudem muss man bedenken, dass Granite und Gneise den überwiegenden Teil der bis heute erhaltenen Gesteine des Erdaltertums ausmachen. Diese Gesteine entstehen in den Tiefen der Erdkruste, ihre Bildung kann deshalb nie direkt beobachtet werden, wie das etwa bei Sedimenten oder bei vulkanischen Ablagerungen der Fall ist. Sie treten erst in unser Blickfeld, wenn sie durch langandauernde Hebungs- und Abtragungsvorgänge an die Erdoberfläche gebracht werden. Die Deutung dieser Tiefengesteine ist aber trotzdem möglich, weil alle Übergänge zwischen den Erscheinungsformen in der

Mesozoikum		Alter (Mio. Jahre)	GEOLOGISCHE ZEITEINHEIT	Tektonische Grosszyklen	Metamorphosen	Anatexis, Granitbildung	Vulkanismus	Faltungsphasen Bruchtektonik XX	Meeresbedeckung	WICHTIGSTE GEOLOGISCHE VORGÄNGE IN UNSEREM GEBIET
Mesozoikum		200	TRIAS							
		225								
		285	PERM (ROTLIEGENDES)							
		300								
		345	KARBON	variszisch						
		400	DEVON							
		435	SILUR							
		450	ORDOVICIUM							
Paläozoikum (Erdaltertum)		500	KAMBRIUM	kaledonisch						
Kryptozoikum (Erdfrühzeit)		600	PRAEKAMBRIUM	assyntisch						
		700								

Intensive Bruchtektonik (saalische Phase): Zerschierung des Permokarbondtrogens
 Beginn der Bildung des Nordschweizer Permokarbon-Trogens
 Intrusion des Böttsteiner-Granites

Erste Anzeichen der variszischen Gebirgsbildung; in der Badenweiler-Lenzkirch-Zone (B.L.Z.) marine Sedimentation

Regionale anatektische Vorgänge im Zusammenhang mit der kaledonischen Gebirgsbildung.

Assyntisches Gebirge

TABELLE 1: UEBERSICHT ÜBER DIE GEOLOGISCHEN EREIGNISSE IM BETRACHTETEN ZEITRAUM.

Tiefe und den oberflächennah gebildeten beobachtet werden. Wir können diese Beobachtungen zu Entwicklungsreihen zusammenfassen, die uns Rückschlüsse auf die Bildungsbedingungen der Tiefengesteine ermöglichen. Tafel 1 im Anhang fasst schematisch die Entwicklung des nordschweizerischen Grundgebirges zusammen und zeigt die verschiedenen Prozesse, die im Verlaufe der Erdgeschichte die Gesteine veränderten.

Man nimmt an, dass die Bildung der ältesten Gesteine unserer Region vor etwa 900 Mio. Jahren im Präkambrium begann. Es waren Sedimentgesteine, die aber im Verlaufe der geologischen Entwicklung ins Erdinnere versenkt wurden, wo sie unter hohen Temperaturen und Drücken umgewandelt wurden und wo gebirgsbildende Vorgänge zu einer Verwischung der alten Strukturen führten. Anstelle der ursprünglichen Sedimentgesteine finden wir deshalb heute verschiedene Typen von kristallinem Grundgebirge. Wir bezeichnen dieses aus Sedimentgesteinen stammende Grundgebirge als Paragneis, im Gegensatz dazu werden die durch Umwandlung ehemaliger Tiefengesteine entstandenen Gneise als Orthogneise bezeichnet.

Das kristalline Grundgebirge in der Nordschweiz ist, bis auf einige kleinere Vorkommen längs dem Rhein bei Laufenburg, unter einem Stapel von Sedimentgesteinen verborgen. Genauerem Einblick geben uns einzig die Bohrungen, die bis ins kristalline Grundgebirge vorstießen (Fig. 1). Aus Bohrkernen kann allerdings nur sehr lokale Information gewonnen werden; für die Ermittlung der grossräumigen Zusammenhänge ist man deshalb auf zusätzliche Kenntnisse angewiesen. Diese können einerseits durch geophysikalische Aufnahmen (Seismik, Gravimetrie u. a.) beschafft werden, andererseits ergeben sich aber auch aus dem Studium des Grundgebirges im benachbarten Schwarzwald, wo das Grundgebirge an der Erdoberfläche ansteht, nützliche Hinweise auf die Verhältnisse in der Nordschweiz. Da die seismische Untersuchung des Grundgebirges aufgrund seines gesteinsphysikalischen Aufbaus meist wenig erfolgreich ist, gewinnt die vergleichende Analyse des Grundgebirges im benachbarten Südschwarzwald erheblich an Bedeutung. Wir gehen deshalb in unserer Schilderung von den Verhältnissen im Südschwarzwald aus und ver-

Fig. 1: Geologische Übersichtskarte des südlichen Schwarzwaldes und der Nordschweiz (aus Nagra, Technischer Bericht 84–25).

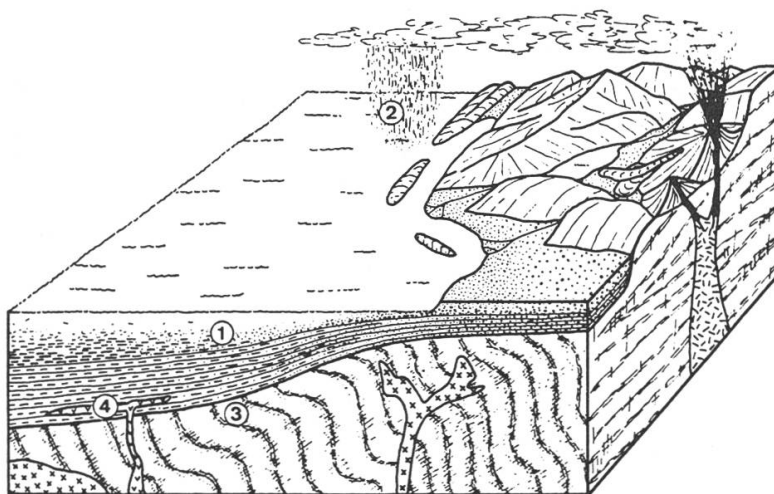
gleichen das Bild, das sich uns bietet, mit den Aufschlüssen, die uns die Bohrungen der Nagra in der Nordschweiz gebracht haben.

Das kristalline Grundgebirge des Schwarzwaldes kann grob in zwei Gesteinsfamilien unterschieden werden:

- Das ältere (prävariszische) Gneisgebirge, dessen Gesteinsverband und dessen wesentlichste Gefügeelemente bereits vor der variszischen Gebirgsbildung (Tab. 1) entstanden.
- Die jüngeren (variszischen) Granitintrusionen (Plutone) und die damit verbundenen Ganggesteine.

Die älteren Gneise bilden dabei eine Art Gesteinsrahmen, in den während der variszischen Gebirgsbildung (Tab. 1) längs ausgedehnten Zonen Granitgesteine eindringen. Man nimmt an, dass das Ausgangsmaterial der Gneise in der Zeit des späten Präkambriums entstand. Es handelte sich um monotone Abfolgen aus klastischen Sedimenten (Trümmergesteine), die von benachbarten Festländern in das marine Ablagerungsgebiet unserer Gegend gebracht wurden (Fig. 2). Es waren vorwiegend Grauwacken und Tone, die in einem tieferen Meeresbecken abgelagert wurden. Da zu jener Zeit die Erdoberfläche noch keine Pflanzendecke trug, war das Gestein intensiv der Erosion ausgesetzt, so dass sich grosse

Fig. 2: Verhältnisse im Präkambrium: Über einem alten präkambrischen Grundgebirge (3) kommen mächtige Sedimentabfolgen zur Ablagerung (1). Vulkane bringen vulkanische Tuffe in den marinen Ablagerungsraum (2). Im tieferen Untergrund dringen magmatische Schmelzen in die Abfolge (4). [Figur aus Nagra, NTB 84–25]



Schuttmengen bilden konnten. Die Abfolge war mehrere tausend Meter mächtig, was darauf hinweist, dass sich der Meeresboden kontinuierlich absenkte. Ein spezieller Gneistyp in dieser Abfolge, die hellen, quarzreichen Leptite, werden auf vulkanische Tuffe zurückgeführt. Zum Bild jener Zeit gehören deshalb auch aktive Vulkane, die wohl zum Teil auch submarin tätig waren. Im weiteren Verlauf der geologischen Entwicklung wurden diese Ablagerungen durch gebirgsbildende Kräfte in grössere Tiefe versenkt, wo sie unter höheren Drücken und Temperaturen umgewandelt («vergneist») wurden. Aus den Mineralassoziationen dieser Gesteine kann man schliessen, dass diese Umwandlung in etwa 15 km Tiefe bei Temperaturen von 650–700 °C und bei Drücken von 4–5 kbar erfolgt ist. Es wird vermutet, dass diese erste Vergneisung etwa vor 570 Mio. Jahren im Zusammenhang mit der assyntischen Gebirgsbildung erfolgt ist, die Daten belegen dies allerdings nicht zweifelsfrei.

Die Ereignisse im nun folgenden Zeitalter des Paläozoikums (Tab. 1) werden besser verständlich, wenn man sich vorerst ein Bild von der Anordnung der Kontinente in den betreffenden Zeitabschnitten macht. Fig. 3 zeigt uns stark schematisch die Situation zu vier verschiedenen Zeitpunkten.

In der Epoche des Kambriums bildet Europa einen eigenständigen Kontinent, der von den übrigen Kontinenten durch verschiedene Ozeane getrennt war. Die kambrischen Kontinente verschoben sich nun im Verlaufe des Paläozoikums in der Weise, dass nach und nach alle Ozeanbecken geschlossen wurden. Die Ablagerungen in den Becken wurden dabei zu Gebirgsgürteln emporgepresst. Am Ende dieser Entwicklung bildeten alle Kontinentalblöcke einen riesigen Grosskontinent, Pangaea genannt.

Zu Beginn der Epoche des Kambriums war das assyntische Gebirge aus der Zeit des Präkambriums (Tab. 1) bereits weitgehend eingeebnet. Die wenig metamorphen Sedimentserien des ausgehenden Präkambriums, die das assyntische Gneisgebirge einst überlagert hatten, waren dabei wohl vollständig erodiert worden.

Wie bereits geschildert wurde, bildete das Schwarzwälder Grundgebirge am Ende des Präkambriums eine ausgedehnte Gneismasse, die im Verlaufe des frühen Paläozoikums (Tab. 1) weiter ausgestaltet wurde. Vor etwa 520 Mio. Jahren kam es zu einer starken Erwärmung des Gebirges. Die Wärme breitete sich domartig von einem Zentrum im Bereich des Zentralschwarzwaldes aus und führte schliesslich zur teilweisen Auf-

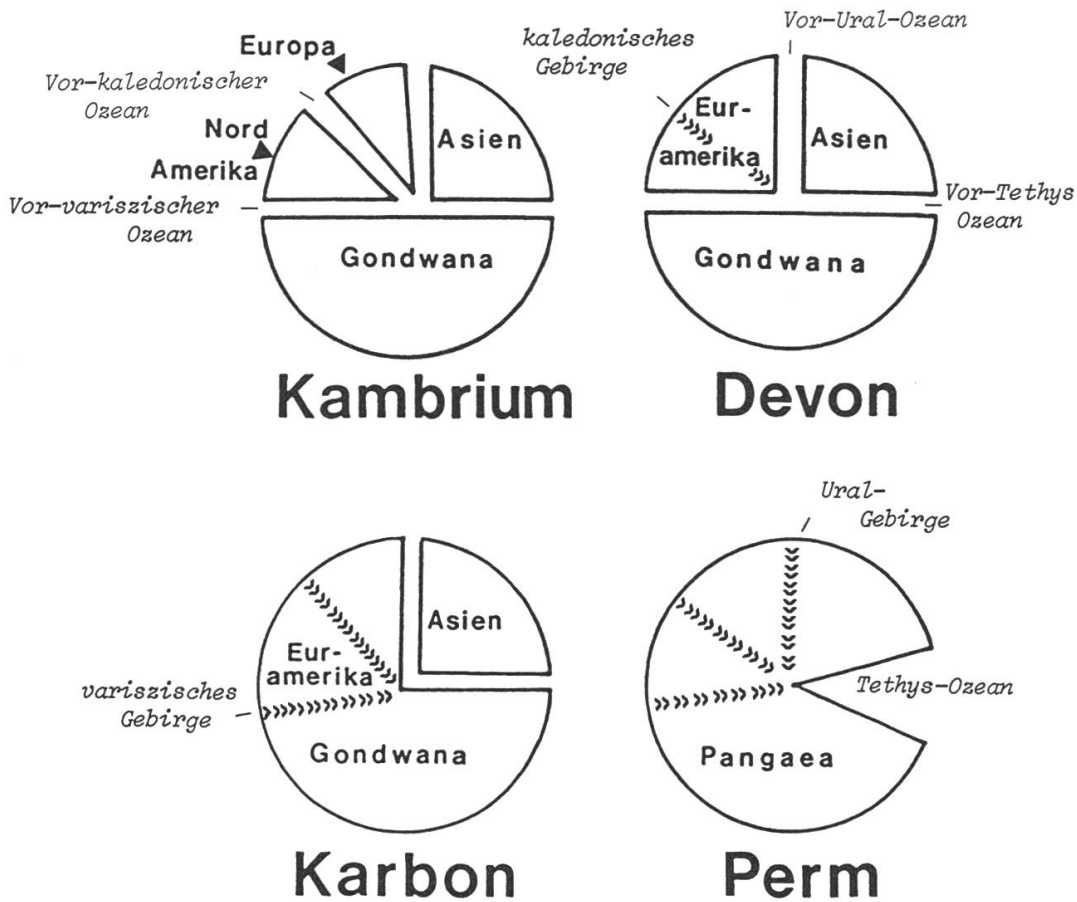


Fig. 3: Schematische Darstellung der Drift der Kontinente für den Zeitraum des Paläozoikums.

schmelzung des Gesteins. Der Geologe nennt diesen Vorgang Anatexis. Die dabei gebildeten Gesteine zeichnen sich durch unregelmässige Bänder und Lagen aus hellen Gesteinsbestandteilen aus, die das eher dunkle Ausgangsgestein durchziehen. Man nimmt an, dass diese Vorgänge mit der beginnenden kaledonischen Gebirgsbildung zusammenhängen.

Die nun folgende Phase der Erdgeschichte ist deutlich durch die Vorgänge im Zusammenhang mit der Entstehung des kaledonischen Gebirges gekennzeichnet. Zwischen den beiden Urkontinenten von Europa und Nordamerika lag im Kambrium der vor-kaledonische Ozean. Dieser wurde im Verlaufe der kaledonischen Gebirgsbildung geschlossen und das Material des Ozeanbeckens zum kaledonischen Gebirge aufgefaltet. Diese Gebirgsbildung erfasste weite Teile Europas, ihre Spuren finden sich heute vor allem in Skandinavien, Schottland und Irland.

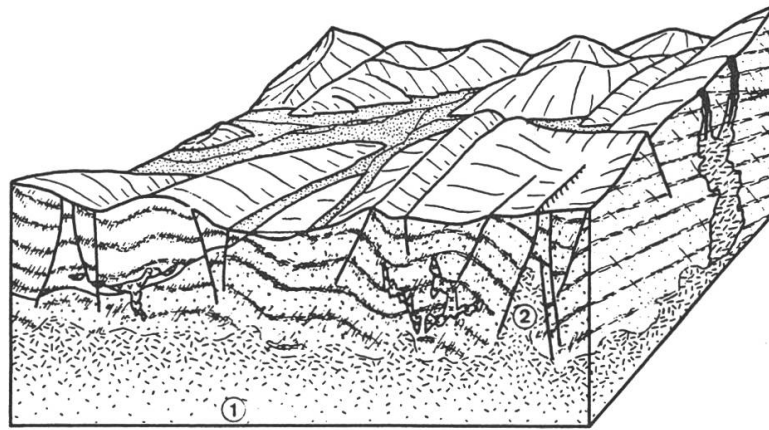


Fig. 4: Verhältnisse an der Wende Kambrium/Ordoviciium: Eine domartige Wärmequelle bewirkt eine teilweise Aufschmelzung des alten Gesteinsbestandes (1). Es entstehen verschiedene Typen anatektischer Gesteine (2). [Figur aus Nagra, NTB 84–25]

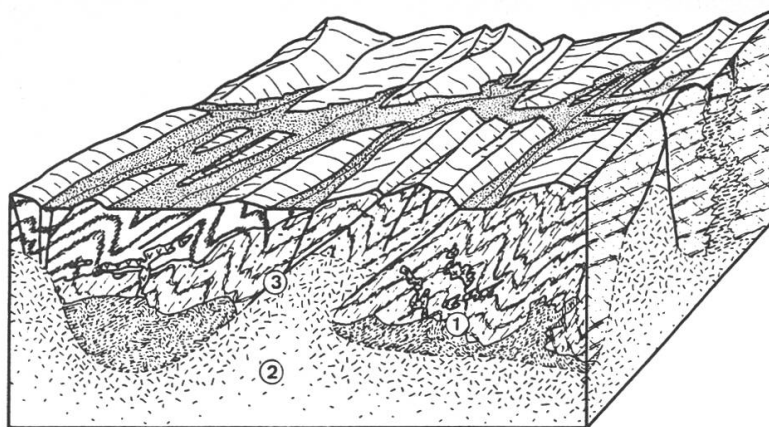
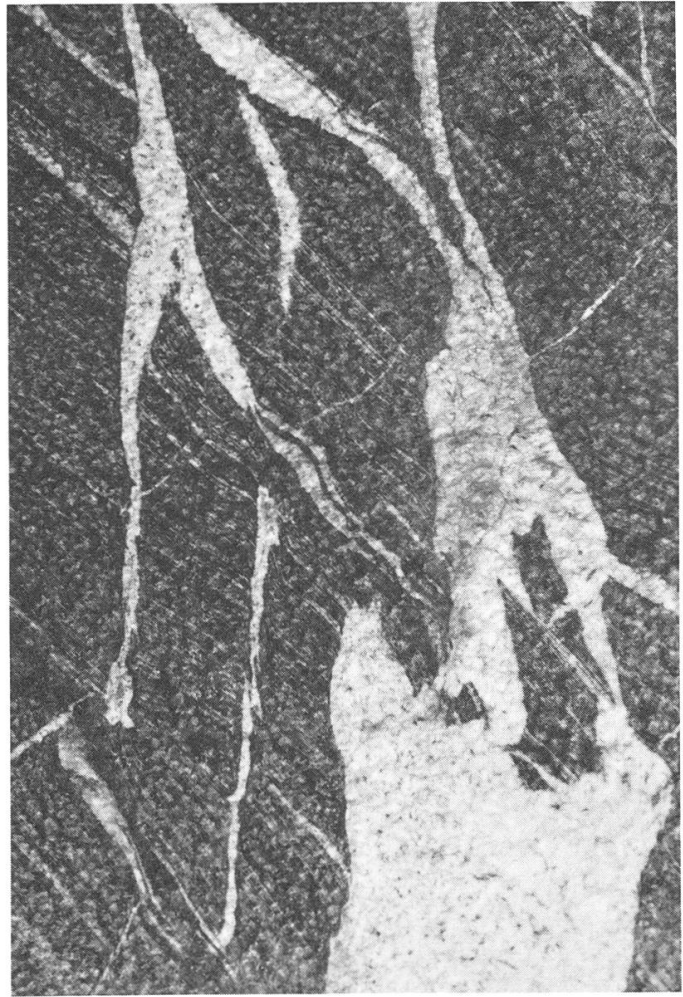


Fig. 5: Verhältnisse im mittleren Ordoviciium: Die metamorphen Gesteine, die aus der kaledonischen Gebirgsbildung hervorgingen (1), wurden aufgeschmolzen (2) und drangen, vermutlich entlang von Schwächezonen (3), in höhere Stockwerke der Erdkruste ein. [Figur aus Nagra, NTB 84–25]

Im Schwarzwald wird die kaledonische Gebirgsbildung vor allem mit einer regionalen Metamorphose in Verbindung gebracht, die zu einer zweiten Vergneisung und Verfaltung der Gesteine führte. Das Gesteinsmaterial wurde dabei mechanisch durchbewegt, was sich in der Umkristallisation von Mineralien und in einer Schieferung des Gesteins äussert (Fig. 4 und Fig. 6).

Fig. 6: Aufschlussbilder aus dem Kanalisationsstollen von Laufenburg. Die Bildbreite beträgt jeweils ca. 1 Meter.

- A) Hell- und dunkelgraue Bändergneise mit ausgeprägter Schieferung. Diese Gesteine sind aus sandigen und tonigen Lagen ursprünglicher Sedimente hervorgegangen.*
- B) Die Gneise werden vielerorts von hellen, massigen Pegmatitgängen durchzogen. Diese hellen pegmatitischen Adern sind als Schmelzen in die Gneise eingedrungen.*

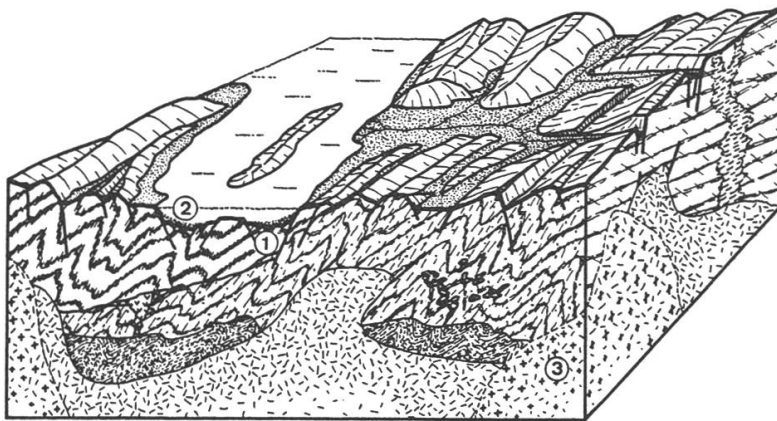


Etwa vor 480 Mio. Jahren kam es zu einer zweiten anatektischen Phase. Bei hohen Temperaturen bildeten sich sehr mobile, intrusionsfähige Magmen, die in den bestehenden Gesteinskomplex eindrangen (Fig. 5). Die anatektischen Gesteinskörper dieser Phase bilden oft langgestreckte Körper, die sich über erhebliche Distanzen erstrecken und die mit weniger metamorphen Serien abwechseln.

Durch die geschilderten Ereignisse waren aus den ursprünglichen Sedimentgesteinen Gneise entstanden. Solche Gesteine können am Rheinufer sowie am Schlossberg bei Laufenburg beobachtet werden, sie wurden aber auch in den Nagra-Bohrungen Kaisten und Leuggern beobachtet. Hervorragende Aufschlüsse ergaben sich beim Bau eines Kanalisationsstollens unter dem Städtchen Laufenburg. Es handelt sich hier um hell- bis dunkelgraue Gneise und Anatexite, die unter dem Begriff «Gneise vom Typ Laufenburg» zusammengefasst werden (Fig. 6). Diese Gneise zeigen ein dünnplattiges, durch dunkle Glimmerlagen (Biotit) ausgeprägtes Schieferungsgefüge. Dieses Gefüge wird von jüngeren Ganggesteinen (Aplite, Pegmatite) durchbrochen, ihre Bildung erfolgte im Zusammenhang mit der variszischen Gebirgsbildung (vgl. Kapitel 3). Diese vorwiegend hellen, grobkörnigen Ganggesteine bilden oft parallel verlaufende Gangscharen oder Adersysteme.

3. Die variszische Gebirgsbildung: Granitintrusionen und Deformation

Durch Hebung und Erosion gelangten die ursprünglich in grosser Tiefe auskristallisierten Gesteine während des Devons in höhere Stockwerke der Erdkruste. Unser Gebiet lag zu jener Zeit im Bereiche eines ausgedehnten, west-ost verlaufenden frühen variszischen Gebirgsgürtels, der sich am Nordrand des vor-variszischen Ozeans entwickelt hatte (Fig. 3). Im nördlichen Vorland des Gebirges erstreckte sich ein «Mittelmeer» bis zum sog. «Old-red-Kontinent» im Norden. Vom Gebirgsgürtel wuchsen grosse Schuttfächer in dieses Meer (Fig. 7), wir finden sie heute in Form mächtiger Grauwackenserien. Trübestrome transportierten das feinere Material auch in küstenfernere Gebiete, wo tonige Sedimente gebildet wurden, die heute als Tonschiefer vorliegen. Aufgrund der speziellen tektonischen Verhältnisse in der Badenweiler-Lenzkirch-Zone (Fig. 1) blieben Reste dieser Ablagerungen erhalten. Es sind dies die ältesten Ablagerungen unserer Region, die nicht mehr einer Metamorphose unterworfen wurden.



*Fig. 7: Situation im Oberdevon: Vom frühen variszischen Gebirgsgürtel wird Abtragungsschutt in den marinen Sedimentationsraum im Norden (2) geschüttet. Am Nordrand des Gebirges setzen erste tektonische Bewegungen an der nachmaligen Badenweiler-Lenzkirch-Zone ein (1). In diese Periode fällt die Intrusion der ersten variszischen Granitplutone (3).
[Figur aus Nagra, NTB 84–25]*

Im Zeitraum vom Oberdevon bis in das Perm wird unser Gebiet endgültig von den Ereignissen der variszischen Gebirgsbildung erfasst. Der im Verlaufe der kaledonischen Gebirgsbildung entstandene Kontinent «Euramerika» wurde nun an den südlichen Grosskontinent Gondwana angeschweisst. Dabei wurde der vor-variszische Ozean geschlossen und zum variszischen Gebirge aufgefaltet (Fig. 3).

Die variszische Gebirgsbildung wird durch grossräumige tektonische Bewegungen, aber auch durch einen intensiven Magmatismus geprägt. Letzterer äussert sich in der Bildung grosser Schmelzmassen vorwiegend granitischer Zusammensetzung, die dann in mehreren Schüben in unterschiedliche Niveaus der bestehenden Erdkruste eindringen.

Im Südschwarzwald können an verschiedenen Orten jeweils mehrere Granitvorkommen im direkten Verband miteinander auftreten. Aus den Kontakten der Granitkörper zueinander können Schlüsse auf die Altersabfolge dieser Intrusionen gezogen werden. So muss beispielsweise ein Granitpluton, der einen anderen durchschneidet, jünger sein als dieser. Eine sorgfältige Untersuchung der Kontaktverhältnisse zeigt uns deshalb die relative Altersabfolge der Granitkörper auf. Diese Ergebnisse können mit absoluten Altersbestimmungen, die auf Zerfallsprozessen radioaktiver Elemente im Gestein beruhen, ergänzt werden, so dass sich schluss-

endlich die Altersabfolge der Intrusionen rekonstruieren lässt. Für die Granite des Südschwarzwaldes lassen sich danach grob drei Gruppen unterscheiden:

- präkinematische Granite (z.T. auch Anatexite), die noch vor den grossräumigen tektonischen Bewegungen ins Grundgebirge eingedrungen sind.
- Synkinematische Granite, d.h. Granitabfolgen, die während den tektonischen Hauptbewegungsphasen intrudierten. Zu dieser Gruppe wird u. a. der Granit von St. Blasien gerechnet.
- Spät- bis postkinematische Granite, die nach Ausklingen der Hauptbewegungen eindringen und selbst somit nur geringe oder gar keine Deformationserscheinungen mehr zeigen. Im Vergleich zu den älteren Graniten sind diese jüngsten Granitschmelzen höher aufgestiegen und in untiefen Krustenbereichen erstarrt. Zu dieser Gruppe gehören der Albtal-Granit (Biotit-Granit) sowie der Schluchsee- und der Bärhalde-Granit (Zweiglimmergranit).

Diese granitische Intrusionstätigkeit reichte zeitlich vom Oberdevon bis ins Oberkarbon und umfasste somit einen Zeitraum von ungefähr 80 Millionen Jahren. Als spätmagmatische Bildungen kristallisierten danach die sog. Ganggesteine aus (Aplite, Pegmatite, etc.). Sie treten oft in Scharen auf und weisen eher geringe Mächtigkeiten auf (dm bis m-Bereich). Diese Gesteine wurden während der Abkühlung der Granite aus Restschmelzen oder Restlösungen gebildet, ihre Platznahme erfolgte entlang von Rissen und Spalten innerhalb der bereits fest erstarrten Granitkomplexe. Diese Gänge stehen somit genetisch in engem Zusammenhang mit den Granitplutonen; sie werden deshalb oft als Ganggefolgschaft eines bestimmten Granites bezeichnet.

Die in den Bohrungen Böttstein und Leuggern angetroffenen grobkörnigen Biotit-Granite mit Kalifeldspat-Grosskristallen als Einsprenglinge (Fig. 8) sind der spät- bis postkinematischen Intrusionsphase zuzurechnen. Erste Resultate von radiometrischen Altersbestimmungen bestätigen dies. Beide Granite zeigen bezüglich Mineralbestand und chemischer Zusammensetzung grosse Ähnlichkeiten zueinander. Ein Unterschied ergibt sich jedoch in der Tiefenlage der angebohrten Granitkörper (Böttstein 315 m, Leuggern 1387 m unter Terrain), im intensiveren Lagenbau des Granites von Leuggern sowie im Umstand, dass in Leuggern im tiefe-

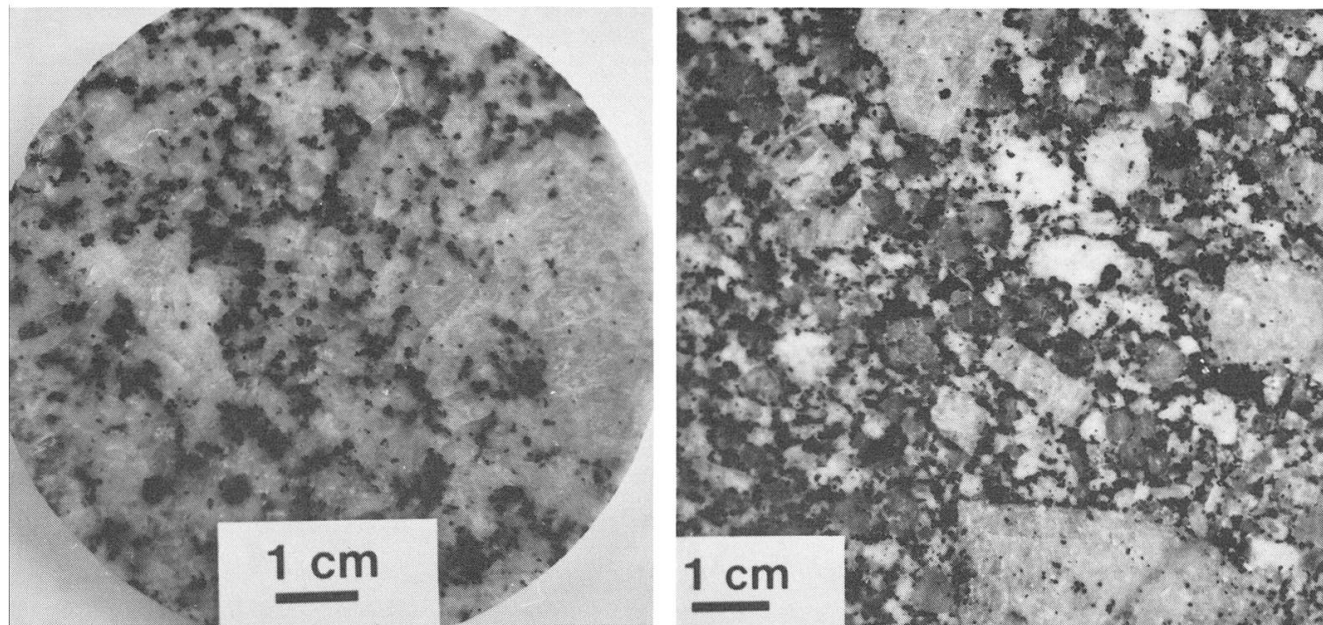


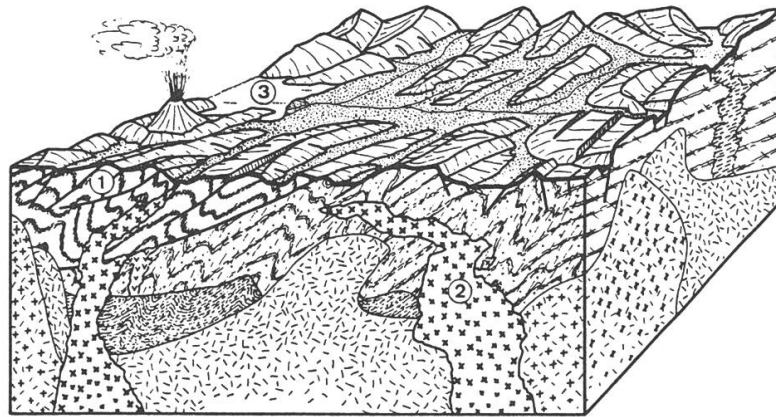
Fig. 8: A) Grobkörniger Böttsteingranit mit hellen (Feldspäte, Quarz) und dunklen (Biotit) Gemengteilen (Anschliff eines Bohrkerns aus 1277 m Tiefe).

B) Als Vergleich dazu eine geschliffene Gesteinsplatte des Albtalgranites aus dem Steinbruch am Tiefensteiner Schlossberg. Das Gestein ist grobkörnig und zeigt Kalifeldspat-Grosskristalle von wechselnder Grösse (1–5 cm).

ren Bohrlochbereich eine sehr helle Zweiglimmergranitvarietät auftritt. Man kann sich das damit erklären, dass das Magma der Intrusion in zwei kurz aufeinander folgenden Schüben in das Umgebungsgestein eindrang.

Beide Granite weisen starke späthydrothermale Umwandlungsercheinungen auf. Dies manifestiert sich makroskopisch durch eine starke Vertonung der Plagioklase (Kalknatronfeldspäte) oder durch eine Rotfärbung des Gesteins. Diese Umwandlungen erfolgten im Zusammenhang mit der Zirkulation von heissen Lösungen, die bevorzugt entlang von Klüften, Rissen und Störungszonen durch das Gestein zirkulierten. Man spricht von hydrothermalen Umwandlungen. Aufgrund von radio-metrischen Altersbestimmungen an Umwandlungsprodukten (Tonmineralien) dürfte diese hydrothermale Tätigkeit über eine lange Zeitdauer sowie während mehreren Phasen gewirkt haben.

Die Bildung von Granitintrusionen hat, wie geschildert wurde, während der ganzen Dauer der variszischen Gebirgsbildung stattgefunden.



*Fig. 9: Verhältnisse an der Wende Unterkarbon/ Oberkarbon: Im Zuge der variszischen Gebirgsbildung sind die unterkarbonischen Sedimentbecken zusammengedrückt und gehoben worden (1). In der Tiefe dringen granitische Intrusionen in den Gebirgskörper ein (2). In den intramontanen Becken des Gebirges werden festländische Sedimente abgelagert (3).
[Figur aus Nagra, NTB 84–25]*

Wir versuchen nun im folgenden, diese magmatischen Vorgänge mit dem tektonischen Geschehen zu vergleichen und daraus ein Bild vom Ablauf der variszischen Orogenese zu entwickeln.

Bereits im Oberdevon deutet der sporadisch auftretende Vulkanismus darauf hin, dass die variszische Gebirgsbildung unser Gebiet erreicht hat. Zu dieser Zeit bildeten sich die ersten Granitintrusionen, wir bezeichnen sie vorgängig als präkinematische Granite.

Im Unterkarbon beobachtet man einen Höhepunkt der magmatischen und vulkanischen Tätigkeit. Der variszische Gebirgsgürtel wurde zu dieser Zeit zunehmend herausgehoben und auf das nördliche Vorland überschoben. Die Granitintrusionen bildeten sich vorzugsweise entlang älterer Strukturfugen, so dass sie sich längs eigentlicher Intrusionsgürtel aufreihen.

Die unterkarbonischen Meeresbecken, die seit dem Devon bestanden, wurden in dieser Phase zunehmend durch tektonische Vorgänge eingeeignet und gehoben. Dies kommt deutlich in den Sedimenten zum Ausdruck, die marinen Ablagerungen des Unterkarbons werden nach und nach von festländischen Ablagerungen abgelöst. Es dominieren nun Konglomerate und Arkosen, die mit vulkanischen Ablagerungen ab-

wechseln (Fig. 9). Die Konglomerate enthalten unter anderem auch Gerölle des Granites von St. Blasien und anderer synkinematischer Granite; die Erosion hatte demnach bereits am Ende des Unterkarbons die ersten Granitplutone freigelegt. Dies illustriert eindrücklich die intensiven Hebungen, die diese Phase der variszischen Gebirgsbildung begleiteten.

Am Ende des Unterkarbons hatte die Front des variszischen Gebirges das Ruhrgebiet erreicht. Im Innern des Gebirges beobachtet man nun zahlreiche grosse Verwerfungen, die den Gebirgsrumpf in einzelne Schollen zerlegen. Diese Bruchtektonik kennzeichnet die gesamte Periode des Oberkarbons und des unteren Perms. Sie führte in weiten Teilen Europas zur Bildung ausgedehnter Senken, in denen sich bald einmal Binnenseen entwickeln konnten.

Auch im Gebiete der Nordschweiz begann im Oberkarbon die Entwicklung einer derartigen Senke. Die Geologen hatten seit bald einem Jahrhundert diesen Karbontrog vergeblich gesucht. Es blieb den Tiefbohrungen der Nagra vorbehalten, erstmalig diesen Nordschweizer Permokarbon-Trog nachzuweisen. Die Bohrungen Weiach und Riniken haben die entsprechenden Ablagerungen durchbohrt, so dass wir über die Entwicklung der Verhältnisse im Trog recht gut informiert sind.

In der Bohrung Weiach wurde die gesamte Trogfüllung durchfahren, während man in Riniken in den Ablagerungen des Perm stecken blieb. An der Basis der Sedimentabfolge in Weiach beobachtete man eine Serie aus Sand- und Siltsteinen, wobei die letzteren häufig Wurzelreste enthalten. Die sedimentären Strukturen der Sandsteine zeigen, dass sie in einem mäandrierenden Flusssystem entstanden. Die Sandsteine entsprechen den Haupttrinnen des Flusses, während die feinkörnigen Siltsteine sich bei periodischen Überschwemmungen der Niederungen des Flusstales bildeten. Pflanzenreste weisen darauf hin, dass das Tal eine Pflanzendecke aufwies. Vulkanische Tuffe, die ab und zu in die permokarbonischen Ablagerungen eingeschaltet sind, belegen, dass im Hinterland des Troges aktiver Vulkanismus vorhanden war. Der Trog war zu dieser Zeit nicht sehr tief, es handelte sich vielmehr um eine breite Talebene, die von den bereits stark abgetragenen Höhenzügen des variszischen Gebirges umsäumt wurde.

Die Flusssedimente werden in Weiach von Ablagerungen abgelöst, die sich durch zahlreiche Kohlenflöze auszeichnen. Es wurden 35 Flöze mit einer gesamten Mächtigkeit von rund 32 m gezählt. Die Kohlenlagen stecken in Ablagerungen, die neben Arkosen, Sand- und Siltsteinen auch

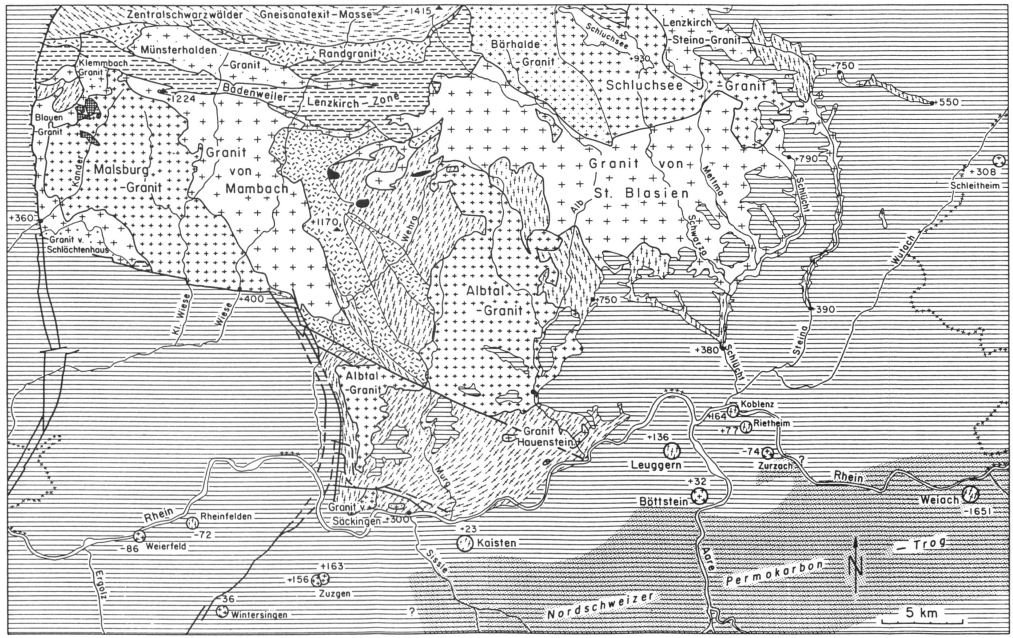
bituminöse Tone und Algenkalke enthalten. Dies sind typische Seeablagerungen. In der Senke hatten sich demnach Binnenseen gebildet, die von ausgedehnten Sumpf- und Mooregebieten umgeben waren. Von den Höhenzügen des Trograndes erstreckten sich Flussdeltas in die Niederungen; das feuchtwarme Klima der Karbonzeit begünstigte die Entwicklung einer dichten Pflanzendecke. Die Fossilien der Bohrung Weiach zeigen, dass es sich um «Gehölze» aus Baumfarnen (Fig. 10), Bärlappen und Schachtelhalmen gehandelt hat. Oswald Heer gab in seinem Werk über die Urwelt der Schweiz vor mehr als hundert Jahren eine eindruckliche Darstellung dieser Steinkohlenwälder (Fig. 11).

Die Überreste dieser Flora sammelten sich in den Mooren und Sümpfen an, wo sie unter Luftabschluss zu Torf umgewandelt wurden. Änderungen des Wasserspiegels im See bewirkten, dass die Torflager von Zeit zu Zeit mit sandigen Seeablagerungen überdeckt wurden.

Die Bildung der Torflager hielt über lange Zeit an, erst zu Beginn der Permzeit machte sich allmählich ein Umschwung bemerkbar. Das humide Tropenklima wurde von einem trockenen, semiariden bis ariden Wüstenklima abgelöst. Dieser Klimaumschwung zeigt sich deutlich in der Farbe der entsprechenden Gesteine; waren die Fluss- und Seeablagerungen meist dunkel gefärbt, so dominieren nun zunehmend intensive Rottöne. Die Formationen des unteren Perms werden deshalb nicht zu Unrecht Rotliegendes genannt.

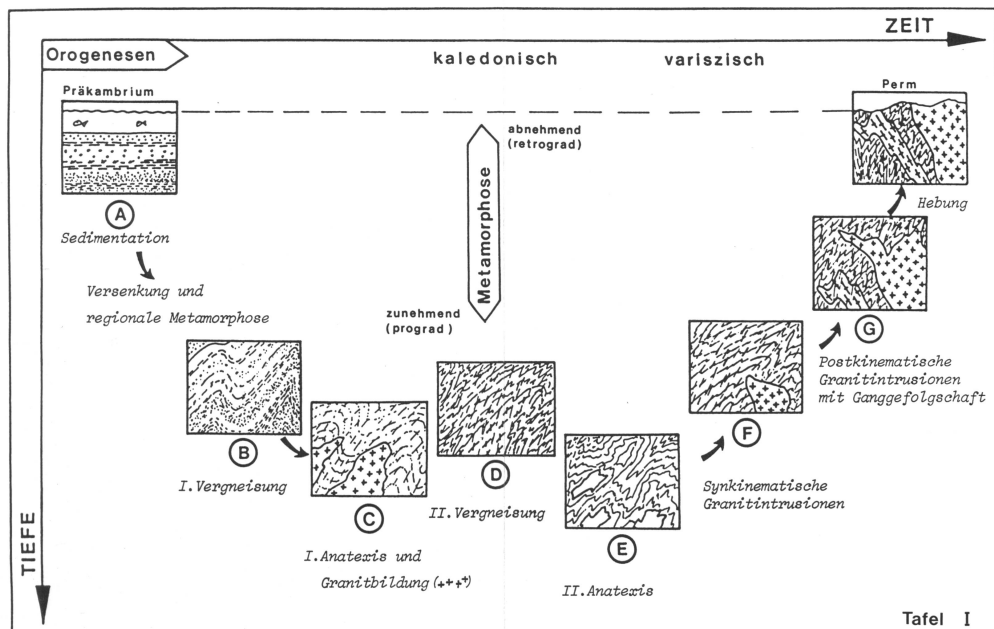
Diese Ablagerungen des Rotliegendes bestehen in ihrem unteren Teil aus sehr grobkörnigen Sedimenten, hauptsächlich Brekzien und Konglomerate (Trümmergesteine), die teilweise bis 20 Zentimeter grosse Grundgebirgsbrocken enthalten. Man nennt diese Ablagerungen auch Fanglomerate, sie stellen den Erosionsschutt der umliegenden Grundgebirgslandschaft dar. Sie bildeten sich, wenn bei den episodischen starken Regenfällen im Wüstengebiet kurzzeitig reissende Bäche entstanden, die grosse Mengen an Lockermaterial in die Senken transportierten. Diese Schlammströme trockneten danach aus und bildeten schliesslich die typischen, schlecht geschichteten Fanglomerate.

Die stellenweise grosse Mächtigkeit dieser Abfolge (in Riniken wurden rund 600 m erbohrt) zeigt uns, dass die relative tektonische Ruhe, die den Zeitraum vom Oberkarbon zum Unterperm ausgezeichnet hatte, nun einer weiteren Phase der variszischen Gebirgsbildung Platz machte. Diese «Saalische-Phase» setzt zu Beginn der Oberrotliegend-Zeit ein; sie äussert sich im regionalen Rahmen weniger in grossen Faltungs- und



- Deckgebirge (Rotliegendes bis Tertiär)
- Oberdevon bis Karbon Sedimente, Vulkanite und Metamorphite
- Deckenartiger Quarzporphyr von Stockberg (Perr)
- Spät- bis postkinematische variszische Granite
- Früh- bis synkinematische variszische Granite
- Gneise, schwach anatektisch überprägt
- Gneise, stark anatektisch überprägt
- Mafische und ultramafische Gesteine
- Wichtigste Störungslinien
- Bohrungen**
- NAGRA-Tiefbohrungen
- Andere Bohrungen
- Granit
- Gneis
- +163 Kote (NN) der Kristallinoberfläche

- (A)** Sedimentation des Ausgangsmaterials des Grundgebirges: Grauwacken, Tone und vulkanische Tuffe
- (B)** Versenkung der Sedimente in die Tiefe: regionale Metamorphose (1. Vergneisung)
- (C)** Lokale Aufschmelzung des Gesteins in grosser Tiefe infolge hoher Temperaturbedingungen: Mobilisierung granitischer Schmelzen (1. Anatexis)
- (D)** Unter Einwirkung gebirgsbildender Kräfte werden die Gesteine unter mechanischem Druck umgeformt = Dynamometamorphose (2. Vergneisung)
- (E)** Teilweise Aufschmelzung des Gesteins (2. Anatexis)
- (F)** Tiefgreifende Veränderung des Grundgebirges im Zuge der variszischen Gebirgsbildung: Zahlreiche Granite dringen in den bereits anatektisch überprägten Gesteinsrahmen ein (synkinematische Granite)
- (G)** Aufdringen von granitischen Schmelzen in un tiefe Krustenbereiche (postkinematische Granite mit Ganggefölschaft). Die darauf folgende Hebungphase bringt die Granite relativ schnell an die Erdoberfläche, wo sie durch Erosion weitgehend freigelegt werden. Der ganze Südschwarzwald stellt im Oberkarbon und Perm ein Abtragungsgebiet dar.



Tafel I

Fig. 10: Bruchstück eines Farnwedels aus den Schichten des Stephanien (Oberkarbon) der Bohrung Weiach. Durchmesser des Bohrkerns ca. 12 cm.

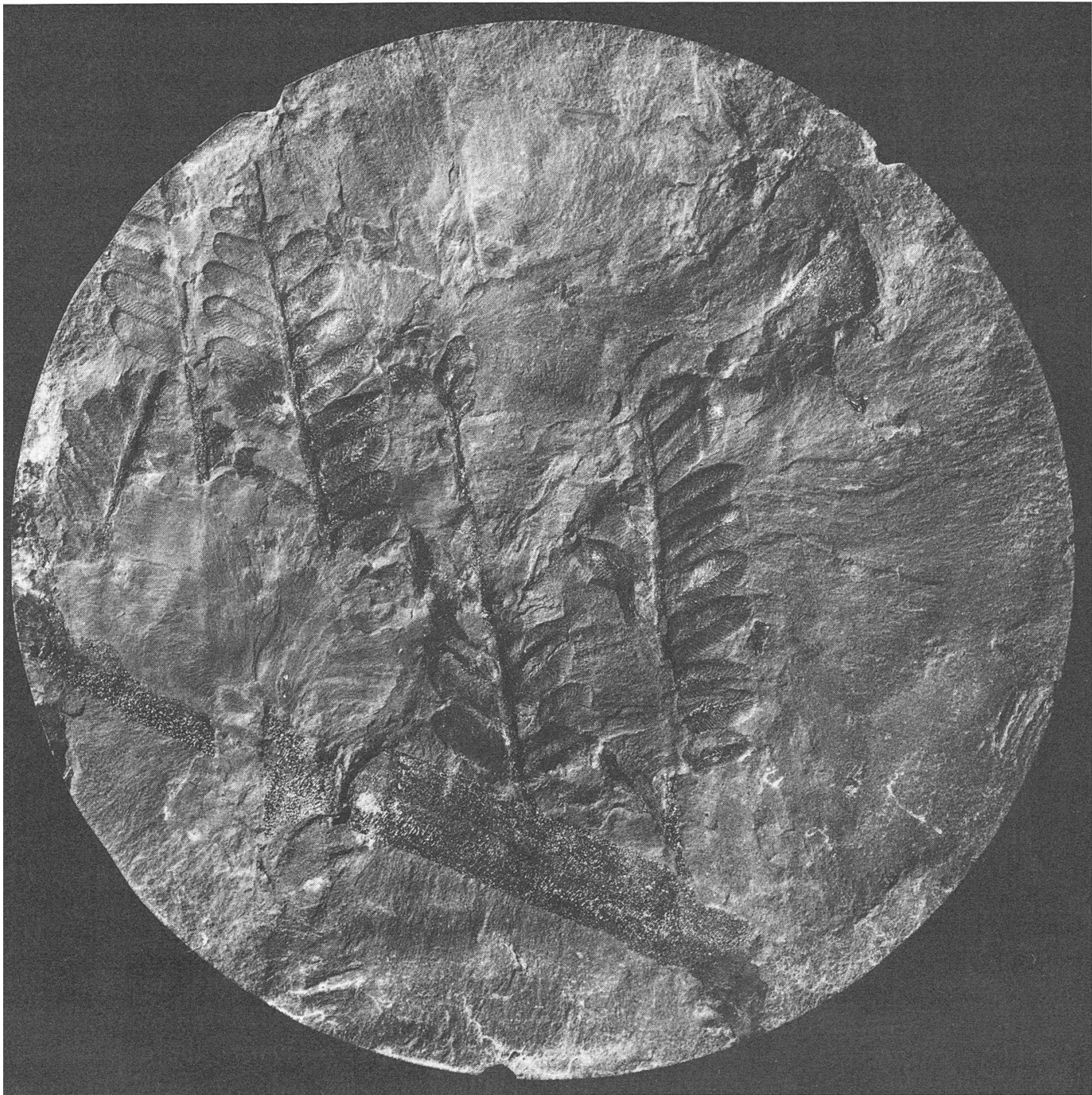


Fig. 11: Darstellung des «Steinkohlenwaldes» in O. Heer (1865): Die Urwelt der Schweiz.

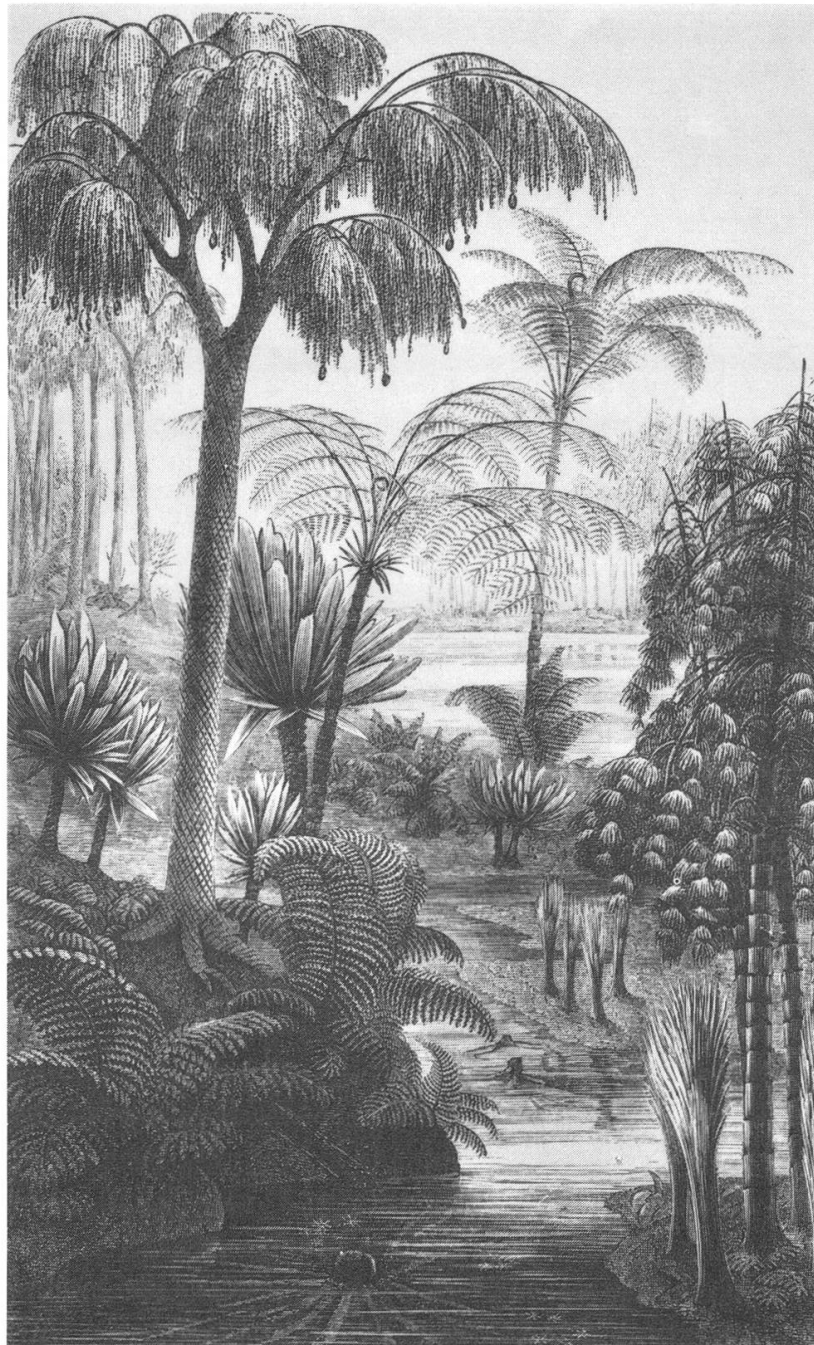


Fig. 12: Schnitte durch den Nordschweizer Permokarbon-Trog (mesozoische Deckschichten nicht dargestellt). Diese Schnitte illustrieren gut die Auswirkungen der saalischen Tektonik. Die Trogfüllung wurde stark zerbrochen und längs steilstehender Überschiebungen zusammengedrückt. Die Schichten des Karbons wurden schematisch mit gleicher Mächtigkeit eingetragen, da keine detaillierten Angaben vorliegen.

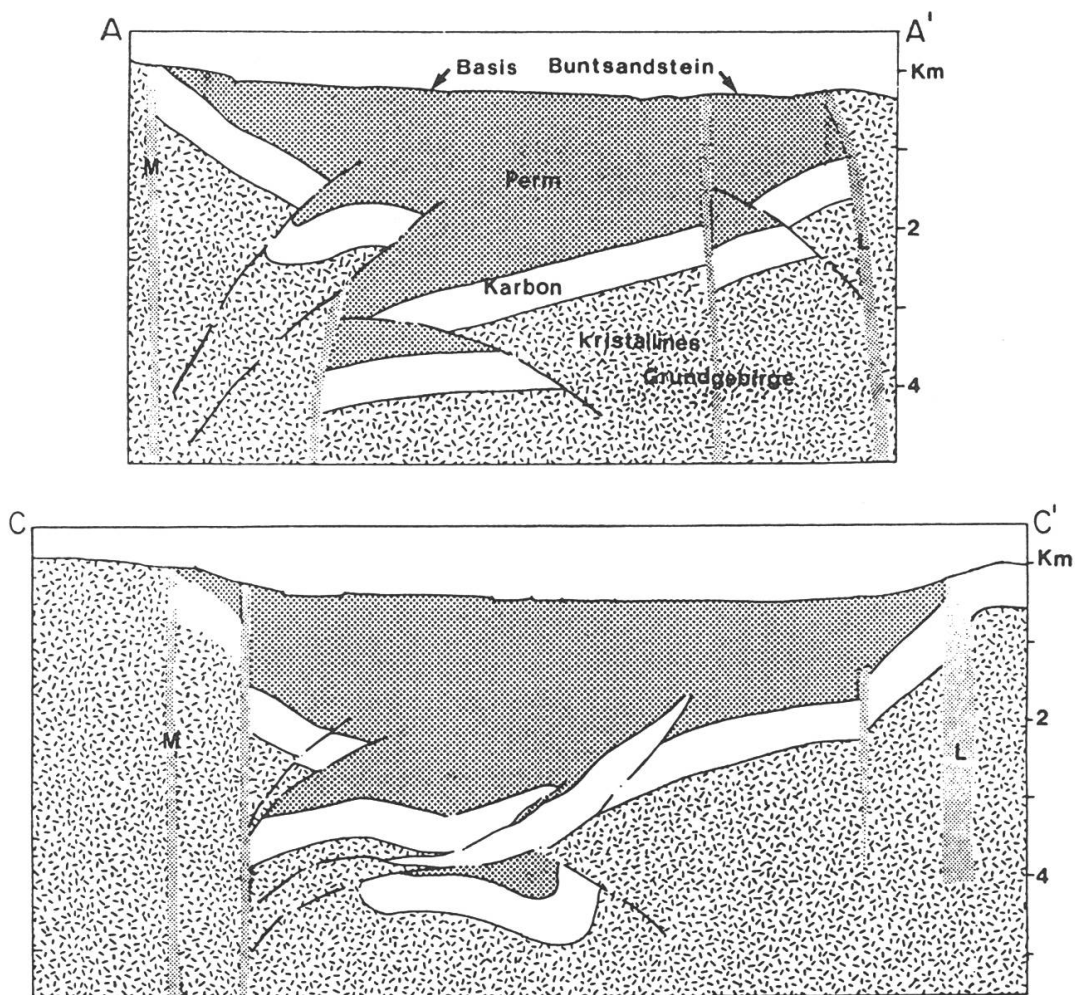
Die Profile sind Interpretationen von Prof. H. P. Laubscher, Basel

Schnitt A–A': Kaisten–Hornussen–Thalheim

Schnitt C–C': Hottwil–Brugg–Birrfeld

M: Mandacher-Störung

L: Lägern-Störung



Überschiebungsvorgängen als in einer dramatischen Steigerung der Bruchtektonik. Die Saalische-Phase führt zu einer weiteren Zerstückelung des alten variszischen Sockels. Die nord-süd gerichtete Tektonik, die zu einer Schliessung des vor-variszischen Ozeans geführt hatte (Fig. 3), machte nun einer west-ost gerichteten Tektonik Platz, die ihren Ausdruck in der Bildung des Ural-Gebirges im Osten fand.

Grosse Horizontalverschiebungen führten in Europa zu einer intensiven Zerschering der oberkarbonischen Sediment-Tröge. Diese Vorgänge bewirkten eine starke Deformation der Trogfüllungen und führten zu einem äusserst komplizierten internen Bau dieser Tröge. Auch der Nordschweizer Permokarbon-Trog wurde von diesen Ereignissen betroffen, Fig. 12 zeigt zwei Querprofile durch den Trog, die gut die Wirkungen der kompressiven tektonischen Vorgänge während der saalischen Phase illustrieren.

Im oberen Rotliegenden klingt die tektonische Unruhe der saalischen Phase langsam ab. Das Relief zwischen Graben und Hinterland wird zunehmend ausgeglichen. Die Sedimente werden feinkörniger, man findet nun Ton- und Siltsteine, die ab und zu auch fossile Bodenhorizonte enthalten. Diese Ablagerungen greifen weit über die «saalischen Tröge» hinaus, sie zeigen uns, dass die tektonische Ausgestaltung der Tröge vorerst abgeschlossen war. Diese Ruheperiode hielt für die gesamte Zeitdauer des Erdmittelalters (Mesozoikum) an; erst in jüngerer Zeit, im Tertiär, kam es im Gefolge der alpinen Gebirgsbildung zu einer Reaktivierung der alten Strukturen. Doch davon soll in einem weiteren Aufsatz berichtet werden.

Glossar

Anatexis:	Teilweise oder völlige Wiederaufschmelzung eines festen Gesteins infolge starker Temperaturerhöhung während der Versenkung des Gesteinsverbandes in grössere Erdtiefen oder beim Eindringen grösserer Magmenmassen in den betreffenden Gesteinskomplex.
Aplit:	Helles, feinkörniges Ganggestein, vorwiegend aus Feldspat und Quarz bestehend.
Arkose:	Sandstein mit über 25% Feldspat-Körnern.
Assyntische Faltung:	Nach dem Assynt-Distrikt (Schottland) benannte Phase der Gebirgsbildung, die vor 600–1000 Millionen Jahren stattgefunden hat.
Ergussgesteine: (Vulkanite)	An der Erdoberfläche erstarrte Gesteine. Der grosse Temperaturunterschied zwischen Schmelze und Umgebung führte zu einer raschen Abkühlung und Erstarrung. Die Ergussgesteine sind deshalb in der Regel feinkörnig oder aber porphyrisch ausgebildet, d.h. es liegen Einsprenglinge aus grösseren Kristallen in einer feinkörnigen, oft auch glasigen Grundmasse.
Ganggesteine:	Entlang von Spalten und Rissen aufgedrungene, aus magmatischen Schmelzen auskristallisierte Gesteine.
Gneis:	Metamorphes Gestein mit deutlichem Parallelgefüge. Als Hauptgemengteile treten auf: Feldspat, Quarz, Glimmer.
Granit:	Fein- bis grobkörniges, massiges Gestein mit Quarz, Alkalifeldspat, Plagioklas und Glimmer als Hauptgemengteile. Enthält der Granit sowohl hellen Glimmer (Muskowit) wie auch dunklen (Biotit), so spricht man von Zweiglimmergraniten.
Grauwacke:	Graue bis graugrüne Sandsteine, zur Hauptsache aus Quarz und Feldspat bestehend. Charakteristisch ist ein hoher Anteil an Gesteinsbruchstücken. Die Bezeichnung wird meist nur für paläozoische und ältere Gesteine verwendet.
Hydrothermale Bildungen:	Auskristallisation von Mineralen aus gas- und salzreichen wässrigen Lösungen im Temperaturbereich von 30 bis 300 °C.
Intrusion:	Das Eindringen des Magmas zwischen andere Gesteine in Form von Stöcken, Gängen etc. Die Tiefenlage der Intrusionskörper innerhalb der Erdkruste wird als Intrusionsniveau bezeichnet. Bei grösseren Intrusionskörpern spricht man von Plutonen.
Kaledonische Faltung:	Bezeichnung für eine Gebirgsbildung, die im Silur bis Unterdevon (ca. 430–390 Millionen Jahren) zur Auffaltung grosser Gebirgsketten (z. B. Norwegen, Schottland) geführt hat.
Konglomerat:	Grobklastisches Sedimentgestein aus abgerundeten Gesteinstrümmern (Geröllen), die durch ein kalkiges, kieseliges oder toniges Bindemittel miteinander verkittet sind.
Leptit:	Dichtes, helles SiO ₂ -reiches metamorphes Gestein (umgewandelte Vulkanite).
Magma:	Natürliche, meist silikatische Schmelze mit Temperaturen zwischen 650 bis 1400 °C.
Metamorphose:	Umwandlung des Mineralbestandes von Gesteinen in der Erdkruste infolge Druck- und/oder Temperaturänderungen.
Old Red:	Bezeichnung für kontinentale Ablagerungen des Devons (vor ca. 380 Millionen Jahren) mit meist rot gefärbten klastischen Sedimentgesteinen.

Orogenese:	Prozess der Gebirgsbildung (Faltung, Überschiebung). Die Ursachen der Gebirgsbildung sind in grossen Tiefen der Erdkruste zu suchen. Nach den Modellvorstellungen der Plattentektonik sind langsame Fließbewegungen in einer sich plastisch verhaltenden Tiefenzone unterhalb 100–150 km verantwortlich für die Verformung der höheren, starrereren Bereiche (Kontinentalplatten).
Pegmatit:	Sehr grobkörniges magmatisches Gestein, das aus einer an flüchtigen Bestandteilen reichen Restschmelze plutonischer Magmen erstarrt ist. Diese Restschmelzen drängen bevorzugt entlang von Spalten und Rissen ein und treten deshalb meist in Form von Gängen oder Linsen in den obersten Teilen granitischer Gesteine oder in deren Randbereichen auf.
Pelite:	Feinklastische Sedimentgesteine mit Korngrößen < 0,02 mm.
Siltstein:	Feinkörniges Trümmergestein ähnlich einem Tonstein, aber mit etwas größeren Sedimentpartikeln.
Tektonik:	Lehre vom strukturellen Aufbau der Erdkruste, den Bewegungsvorgängen und den diese verursachenden Kräften.
Tiefengesteine: (Plutonite)	Gesteine, die in 1–30 km Tiefe im Innern der festen Erdkruste erstarrt sind. Der oft nicht sehr grosse Temperaturunterschied zwischen Schmelze und Umgebung führt zu einer langsam erfolgenden Kristallisation. Dadurch entstehen meist mittel- bis grobkörnige, gleichkörnige Gesteine. Grössere Gesteinskörper werden als Plutone bezeichnet.
Tuff:	Verfestigtes vulkanisches Auswurfprodukt, häufig geschichtet.

Ausgewählte Literatur

- Diebold P.* (1983): Der Permo-Karbon-Trog in der Nordschweiz. *Nagra informiert* 5. Jahrgang, Nr. 3 + 4.
- Erläuterung zur geologischen Karte von Freiburg im Breisgau und Umgebung 1 : 50000* (1977). Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Geyer O.F., Gwinner M.P.* (1986): *Geologie von Baden-Württemberg*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Huber A., Huber M.* (1984): Das Kristallin des Südschwarzwaldes. *Nagra, Technischer Bericht* 84–30.
- Laubscher H.P.* (1986): Struktur des Grundgebirges und des Paläozoikums in der Nordschweiz. Expertenbericht zum Projekt Gewähr 1985 zuhanden des Bundesamtes für Energiewirtschaft.
- Metz R.* (1980): *Geologische Landeskunde des Hotzenwaldes*. Moritz Schauenburg Verlag, Lahr/Schwarzwald.
- Müller W.H., Huber M., Isler A., Kleboth P.* (1984): Erläuterungen zur «Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1 : 100000». *Nagra, Technischer Bericht* 84–25.
- Sondierbohrung Böttstein, Untersuchungsbericht* (1985). *Nagra, Technischer Bericht* 85–01.
- Ziegler P.A.* (1982): *Geological Atlas of Western and Central Europe*. Schell Int. Petr. Maatsch. (Elsevier, Amsterdam/New York).