

Übersicht über die Erdgeschichte des Thurgaus seit dem Paläozoikum (Erdaltertum)

Autor(en): **Naef, Heinrich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft**

Band (Jahr): **55 (1999)**

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-593949>

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.

2 **ÜBERSICHT ÜBER DIE ERDGESCHICHTE DES THURGAUS SEIT DEM PALÄOZOIKUM (ERDALTERTUM)**

Heinrich Naef
(Vergl. dazu die Abb. 1.2 und 7.3)

2.1 **REGIONALER ÜBERBLICK UND TEKTONISCHE BAUEINHEITEN**

Für das Verständnis der geologischen Geschichte des Kantons Thurgau muss der Rahmen über den eigentlichen Bodenseeraum hinaus abgesteckt werden.

Die tektonische Übersichtskarte und das entsprechende Tiefenprofil in Abb. 2.1 zeigen die Lage des Thurgaus als Teil des sogenannten Molassebeckens, das sich in einem 50 bis 100 km breiten Streifen von SW nach NE ausdehnt und so den internen Bereich des nördlichen Alpenvorlandes bildet. Im SE liegen die Alpen, welche aus einem kompliziert verfalteten Stapel von Gesteinsmassen, sogenannten Decken von unterschiedlichem Alter und Herkunft bestehen. Im NW geht das Alpenvorland in den mitteleuropäischen Kontinent über, wo neben ausgedehnten Tafelländern mit mesozoischen (aus dem Erdmittelalter stammenden) Sedimenten (Tafeljura, Schwäbische Alb) alte Rumpfgebirge aus Kristallingesteinen (Schwarzwald) bis an die Oberfläche reichen; während der Erdneuzeit haben sich im Zusammenhang mit der alpinen Gebirgsbildung auch weiter vom Alpenrand entfernt junge Gräben mit mächtigen tertiären Sedimentfüllungen wie z. B. der Oberrheingraben gebildet. Der nordwestliche Randbereich des Molassebeckens wird zudem von einer Zone mit jungpaläozoischen (aus dem jüngeren Erdaltertum stammenden) Sedimenten, dem Nordschweizer Permokarbondrog, unterlagert, wo in Tiefen von ein bis über drei km – auch unter dem nördlichen Kanton Thurgau – ausgedehnte Kohlevorkommen vermutet werden (vergl. Kapitel 2.2 und 7.2.3).

Die ca. 35 km dicke mitteleuropäische Erdkruste fällt mit zunehmender Neigung nach SE unter das alpine Gebirge ein, wird von diesem buchstäblich niedergedrückt, und endet in grosser Tiefe (vergl. Abb. 2.1 unten). Diese Situation wurde durch die Kollision zweier Kontinentalplatten verursacht, die sich im Laufe von ungefähr 100 Millionen Jahren sukzessive ineinander verkeilt haben. Dabei wurden ein alter Ozean, die Tethys, und die Randbereiche der Kontinentalplatten auf einen Bruchteil ihrer ehemaligen Breite von einigen 100 km verkürzt. Die dazwischenliegenden Krustenteile, die penninischen Einheiten, wurden von ihrer Unterlage abgeschert und als Decken übereinandergeschoben und teilweise intensiv verfault. Eine entsprechende Verdickung der Erdkruste im Bereich der Kollisionszone bewirkte eine kontinuierliche Hebung und damit die Entstehung eines Gebirges. Das steiler werdende Relief führte in der Folge zu anhaltender Erosion an der Erdoberfläche, wodurch die aufsteigenden Gesteinsmassen laufend wieder abgetragen wurden. Deshalb sind in den Alpen heute Gesteine aufgeschlossen, die vor 25 Millionen Jahren noch in grossen Tiefen von bis über zehn km lagen!

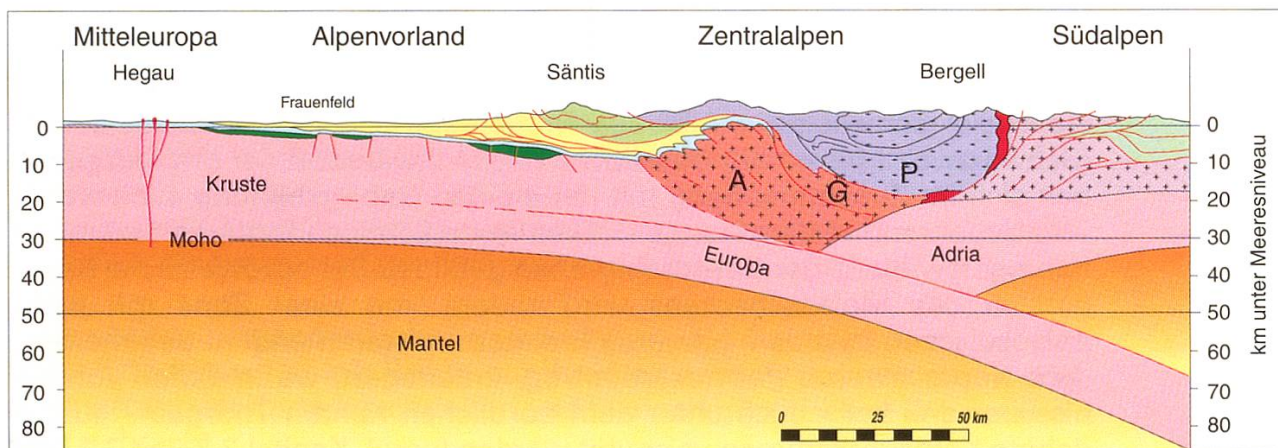
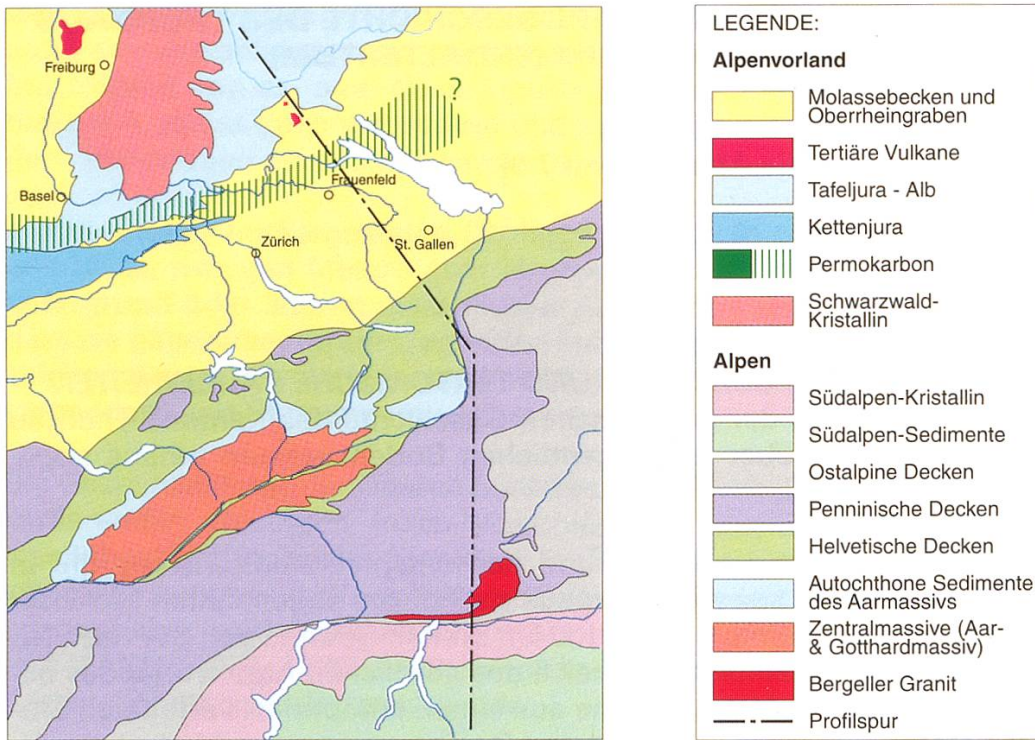


Abb. 2.1: Tektonische Übersichtskarte und Alpenprofil (nach PFIFFNER et al. 1997)

Unter den Zentralalpen ist die Kruste heute bis über 50 km dick (Abb. 2.1); der Kern des Gebirges wird auf dem Profilschnitt vom sogenannten Aarmassiv (A) gebildet, dessen mesozoische Sedimentbedeckung sich unter dem Molassebecken hindurch mit den gleichaltrigen Gesteinen des Tafeljuras resp. der schwäbischen Alb verbinden lassen (Autochthone, d.h. an Ort und Stelle gebildete Sedimente, in Abb. 2.1 blau). Die mesozoischen Sedimente des zwischen Aarmassiv und den penninischen Decken (P) eingeklemmte Gotthardmassivs (G) dagegen wurden von ihrer kristallinen Unterlage abgeschert und weit nach Norden transportiert. Sie liegen heute in Form der intensiv verfalteten helvetischen Decken (z.B. Säntis) am Alpennordrand, wo sie Teile des ehemals viel ausgedehnteren Molassebeckens überfahren haben (grün). Die Front der alpinen Überschiebungsbahnen reicht heute bis unter das Ostschweizer Mittelland, dessen Querschnitt einen von NW nach SE sukzessive mächtiger werden und dann durch die Alpenfront aufgebogenen und abgeschnittenen,

keilförmigen Gesteinskörper zeigt, der gesamthaft als **Molasse** bezeichnet wird (siehe Kapitel 2.4 und 3 und das Profil auf der Karte). Die Molasse besteht aus einer wechselhaften Folge von zu Gestein verfestigten Kiesen, Sanden und Schlamm (Nagelfluh, Sandstein, Mergel), die als Erosionsmaterial der entstehenden Alpen vor ca. 30 bis 12 Millionen Jahren in deren Vorland abgelagert wurden. Die tektonische Übersichtskarte der Nordostschweiz und das Querprofil vom Hegau bis zum Säntis vermitteln einen etwas detaillierteren Überblick über den regionalen Bau des Alpenvorlandes (siehe Karte). Das stark vereinfachte geologische Profil beruht auf seismischen Aufnahmen der Erdölindustrie und den Ergebnissen eines nationalen Forschungsprogramm (vergl. PFIFFNER et al. 1997 a). Für die Abgrenzung der eingezeichneten Permokarbonvorkommen gibt es zwar nur sehr vage Anhaltspunkte, das Vorkommen solcher jungpaläozoischer Sedimenttröge ist aber für das ganze Alpenvorland typisch und deren schematische Darstellung deshalb gerechtfertigt.

Der Übergang zwischen mittelländischer Molasse und der subalpinen Molasse am Alpenrand wird durch eine Stauchzone mit komplizierter Internstruktur gebildet (engl.: triangle zone). An deren Aussenflanke ist die mittelländische Molasse aufgerichtet und leicht rückwärts überschoben. Westlich von Zürich führte der laterale Schub von den Alpen her zur Abscherung des gesamten Deckgebirges (Molasse und Mesozoikum) und damit zur Auffaltung des Kettenjuras.

2.2 DAS GRUNDGEBIRGE

Die Entstehung des Thurgauer Grundgebirges kann nur im regionalen Vergleich diskutiert werden, da, abgesehen von den Bohrkernen der drei Thurgauer Tiefbohrungen, keine direkten Informationen über dessen Strukturen und Zusammensetzung vorliegen.

In Kreuzlingen und Herdern erbohrte man direkt unter dem basalen Sandstein des Erdmittelalters kristalline Gesteine des Grundgebirges. Die Bohrung Kreuzlingen erreichte in 2534 m Tiefe einen dunklen Biotitgranit, wie er ähnlich auch in der Tiefbohrung Lindau/ZH angetroffen wurde. Neue Untersuchungen zeigen, dass es sich dabei um einen wenig differenzierten, gneisähnlichen Granit handelt, der durch Aufschmelzen von älteren Sedimentgesteinen in sehr grosser Tiefe entstanden ist (MAZUREK & PETERS 1992).

Die ca. 27 m lange Kristallinstrecke im untersten Abschnitt der Bohrung Herdern (2127–2154 m) zeigt dagegen einen feinkörnigen Biotitgneis, der als Produkt einer intensiven tektonischen Zerschering und Umkristallisation (Metamorphose) eines granitischen Ausgangsgesteins von unbekanntem Alter anzusehen ist. Vergleiche mit den Kristallinkernen der weiteren Nordschweizer Bohrungen sowie mit den Gneisen und Graniten des Schwarzwaldes legen nahe, dass das kristalline Grundgebirge der ganzen Region während und nach einer Gebirgsbildung im Erdaltertum (der sogenannten variskischen Gebirgsbildung) deformiert und nachträglich durch die Zirkulation heisser Tiefenwässer überprägt wurde. In Bezug auf die stoffliche Verwandtschaft der Gneise und Granite scheint aber der sogenannte Nordschweizer Permokarbonrog (vergl. Glossar) eine regionale Grenze darzustellen. Das kristalline Grundgebirge des Südschwarzwalds weist offenbar zum Kristallin der Nordschweizer Tiefbohrungen nördlich einer Linie Baden – Bülach – Andelfingen – Seerücken wesentlich grössere lithologische

Ähnlichkeiten auf, als zum Kristallin der Bohrungen Herdern und Kreuzlingen, welche südlich dieser Achse des tiefen Permokarbondrogens liegen.

Die Gneise des Grundgebirges sind als Krustensegmente zu betrachten, die während der variskischen Gebirgsbildung im Devon und Karbon deformiert und in ihrem Mineralbestand umgewandelt wurden. Wegen der dafür notwendigen hohen Druck- und Temperaturbedingungen muss diese Umwandlung in grosser Tiefe geschehen sein. Stellenweise führte dies sogar zur Aufschmelzung bestehender Gesteine, die dann als granitische Magmen mobilisiert wurden und in höhere Krustenteile aufsteigen konnten, wo sie durch Abkühlung wieder erstarrten und heute z. B. in den bekannten Granitkörpern des Südschwarzwaldes anstehen (vergl. den Gesteinskreislauf in Abb. 1.1). Die Nordschweiz liegt im zentralen Bereich des ehemaligen variskischen Gebirgsgürtels, der sich von Polen bis nach Nordspanien erstreckte. Hier erfolgte nach dem Deckenzusammenschub und der entsprechenden Krustenverdickung im frühen Karbon ein rascher Aufstieg und Erosion der höheren Krustenteile. Gegen Ende des Karbons lagen vormals tief versenkte Gneise und Granite bereits in Oberflächennähe (DIEBOLD et al. 1991), ganz ähnlich wie dies heute in den Zentralalpen der Fall ist (siehe Abb. 2.1)

Die anhaltende Aufwölbung des variskischen Gebirgskörpers bewirkte weiträumige Ausdehnungsprozesse und es entstanden zahlreiche Senkungszonen innerhalb der Gebirge, in denen sich der Abtragsschutt benachbarter Hochzonen sammelte. Solche Sedimenttröge waren im späten Karbon (Stephan) und frühen Perm (Autun) im gesamten Bereich des ehemaligen variskischen Gebirges verbreitet.

Ihre Sedimente zeugen von einem vorerst feuchten, subtropischen Klima mit reicher Flora und Fauna. In ausgedehnten Fluss- und Seelandschaften bildeten sich teilweise sehr mächtige Moore, die heute als Kohleflöze erhalten sind. Im französischen Zentralmassiv sind solche permokarbonen Kohleserien teilweise an der Oberfläche aufgeschlossen und wurden bis vor kurzer Zeit in verschiedenen Abbaugebieten sowohl im Tagebau als auch bergmännisch ausgebeutet. Die Erdöltiefbohrung Dingelsdorf am Überlinger See erbrachte erstmals den Nachweis, dass auch im Bodensee-raum solche jungpaläozoischen Schichten vorhanden sind (LEMCKE 1975, SCHREINER 1992). 1983 wurde in Weiach ZH zwischen der Basis des mesozoischen Deckengebirges und dem kristallinen Grundgebirge eine ca. 1000 m mächtige Abfolge permokarbonischer See- und Flussablagerungen erbohrt, die in 1400–1800 m Tiefe mit zahlreichen Kohleflözen von einer Gesamtmächtigkeit von über 30 m durchsetzt ist. Heute wird vermutet, dass ein grosser Teil der zentralen und östlichen Nordschweiz von ausgedehnten Permokarbonvorkommen unterlagert wird. Eine zentrale Senke, deren Tiefe stellenweise mehrere Kilometer betragen kann, wird deshalb als Nordschweizer Permokarbondrog bezeichnet (DIEBOLD 1988, THURY et al. 1994; siehe auch das geologische Profil in der Karte).

Die neuesten seismischen Untersuchungen der Nagra und der Erdöl-exploration haben gezeigt, dass vor allem unter dem nördlichen Kantonsgebiet zwischen Cholfirst im Westen und Seerücken – Kreuzlingen im Osten mit bedeutenden Kohleserien zu rechnen ist.

2.3 DIE ENTWICKLUNG IM MESOZOIKUM (ERDMITTELALTER)

Nach der tiefgreifenden Umgestaltung der Erdkruste durch die variskische Gebirgsbildung im späten Paläozoikum folgte im Mesozoikum eine lange Zeit mit vergleichsweise ruhigen Verhältnissen. Aus der entsprechenden Gesteinsabfolge, welche man dank der Thurgauer Erdöltiefbohrungen kennt (Abb. 7.3) und Vergleichen mit den Formationen des benachbarten Tafeljuras, kann die Geschichte dieser Epoche rekonstruiert werden.

Bis zur Perm/Trias-Wende vor ca. 245 Millionen Jahren war das variskische Gebirge weitgehend eingeebnet. Bei warm-aridem Klima beherrschten Wüsten die damalige Landoberfläche. In seichten Senken sammelten sich vorwiegend rote Konglomerate und Sandsteine, welche heute die basalen Sedimente des mesozoischen Deckgebirges darstellen (Buntsandsteine).

Im Laufe der frühen Trias wurde das Land sukzessive von einem Flachmeer überflutet, dessen Ablagerungen zuerst Küsten- und Lagunenbedingungen mit sogenannten Evaporiten (Gips und Steinsalz) anzeigen. Die Gebiete im Norden (schwäbische Alb) und im Westen (Tafeljura) waren dann in der mittleren Trias Teil eines offenen Flachmeeres (Schelf) mit reicher Fauna, deren Überreste in den teilweise fossilreichen Muschelkalken erhalten sind. Die Tiefbohrungen der Nordostschweiz und des benachbarten Südwestdeutschland zeigen, dass der Bodenseeraum weiterhin im Randbereich dieses germanischen Meeres lag; anstelle der Muschelkalke findet man hier fossilfreie Dolomite, welche typisch sind für subtropische Küstensedimente aus Trockenzone. Die obere Trias, der sog. Keuper wird im ganzen germanischen Raum dominiert von kontinentalen Ablagerungen. Im Osten (Böhmisches Massiv) sowie im Süden, im Gebiet der heutigen Alpen (Vindelizisches Land) waren offenbar Landmassen vorhanden, deren Verwitterungsprodukte in weiten Fluss- und Schwemmlandebenen abgelagert wurden und heute als ausgedehnte Sandsteinzonen die Schichtabfolge des höheren Keuper durchsetzen (vergl. z. B. GEYER & GWINNER 1991) und die z. B. im Wutachtal und damit auch im Kanton Schaffhausen vorkommen.

Die Trias-Schichtserie aus dem Grenzbereich zwischen dem germanischen Meer und einem nicht genauer bekannten Land weiter im Süden ist in den Thurgauer Tiefbohrungen etwa 230 m mächtig. Sie endet mit einer Schichtlücke, einem Zeitabschnitt von ca. fünf Millionen Jahren, aus welchen bei uns nur lückenhafte Ablagerungen erhalten sind (Rhät).

Während des mittleren Mesozoikums (Jura) wurde die Nordostschweiz für einen Zeitraum von ca. 65 Millionen Jahren von einem wiederum flachen, epikontinentalen Meer bedeckt. Im tieferen, älteren Abschnitt (Lias und Dogger) zeugen wiederholt auftretende, sandreiche Schichtlagen von der Existenz naher Landmassen oder Inseln. Offenbar ragten immer noch Teile des Grundgebirges aus dem Meer und waren darum der Erosion ausgesetzt. Im oberen Jura (Malm) dagegen findet man im ganzen Raum nur noch marine Ablagerungen, die im wesentlichen aus Kalkschlamm und teilweise aus Schwammriffen entstanden und auch tonige Schichten enthalten können. Diese Schichtserien treten heute z. B. in den mächtigen Kalksteinbildungen des Randens zutage.

Die Untersuchung des oft reichen Fossilinhalts der Lias- und Dogger-Serien beweist, dass der Meeresvorstoss sowohl von Norden (germanisches

Meer) wie auch von Süden (Urmittelmeer oder Tethys) her erfolgte. Dadurch kam es zum Kontakt von bisher unabhängig voneinander sich entwickelnden Meeresfaunen. Dank der optimalen Lebensbedingungen in den warmen Flachmeeren führte das zu einer einzigartigen Entwicklung vor allem der marinen wirbellosen Tiere. Mit den klassischen Leitfossilien des Juras, den Ammoniten, liess sich deshalb eine sehr genaue relative Zeitskala erstellen.

Anders als die jurassischen Schichtserien des Tafeljuras und der schwäbischen Alb scheinen die entsprechenden, etwa 550–600 m mächtigen Jura-Sedimente der Thurgauer Tiefbohrungen relativ arm an Fossilien zu sein. Der Bodenseeraum lag zu dieser Zeit wohl am Rande des Jurameeres mit weniger günstigen Lebensbedingungen, wie das auch für Gebiete weiter im Süden nachgewiesen ist (Helvetikum).

Die jüngsten Schichten des ca. 800 m mächtigen mesozoischen Deckgebirges stammen aus dem obersten Jura (siehe Zeittabelle Abb. 1.2). Bis zum Beginn der unmittelbar darüberliegenden Molassesedimentation verstrich aber die sehr lange Zeit von mehr als 100 Millionen Jahren, aus welcher uns nur die in Karstspalten und lokalen Senken erhaltenen Verwitterungsprodukte jüngerer Karbonatgesteine in Form von Bohnerzen, Bolustonen und Quarzsanden erhalten blieben.

Während weiter im Süden, am Nordrand der Tethys sich mächtige Kreideserien ablagerten, die heute in Form der helvetischen Decken den Alpen- und Nordrand der Ostschweiz prägen (z. B. Säntis), wurden in der Nordostschweiz allenfalls einmal abgelagerte Kreidesedimente schon vor der Molassezeit wieder erodiert.

Die Erosion und die Ablagerung von Sedimenten werden bestimmt durch die vertikalen Relativbewegungen benachbarter Krustenteile und deren Lage gegenüber dem globalen Meeresspiegel. Liegt ein Gebiet gänzlich über dem Meeresspiegel, kommt es auf Hochzonen zu Erosion und in Senken herrscht Ablagerung, bis das Relief eingeebnet ist, d. h. die Krustenbewegungen aufgehört haben. Wird das Gebiet durch Senkung oder einen Anstieg des Meeresspiegels, dessen Schwankungen langfristig bis zu ca. 100 m betragen, überflutet, so werden in der Regel im gesamten unter dem Meeresspiegel liegenden Gebiet marine Sedimente abgelagert.

Unter diesem Aspekt müssen wir annehmen, dass die Bodenseeregion während des ca. 180 Millionen Jahre dauernden Mesozoikums sich in mehreren Phasen um insgesamt mehr als 800 m abgesenkt hat.

2.4 DIE ERDNEUZEIT: TERTIÄR UND QUARTÄR

Die den Thurgau betreffenden Ausführungen zu den Perioden Tertiär und Quartär finden sich in den Kapiteln drei und vier. Einige allgemeine Aspekte seien aber hier in der erdgeschichtlichen Übersicht behandelt.

Die jüngere geologische Geschichte des Schweizer Mittellandes ist eng verbunden mit der Entstehung der Alpen und ihrer nördlichen Vortiefe, dem Molassebecken, wie dies in Kapitel 2.1 kurz dargestellt wurde. Nach der ca. 200 Millionen Jahre dauernden Zeit relativer tektonischer Ruhe wurde im Verlaufe des älteren Tertiärs auch die Nordostschweiz von den Krustenbewegungen der alpinen Gebirgsbildung erfasst.

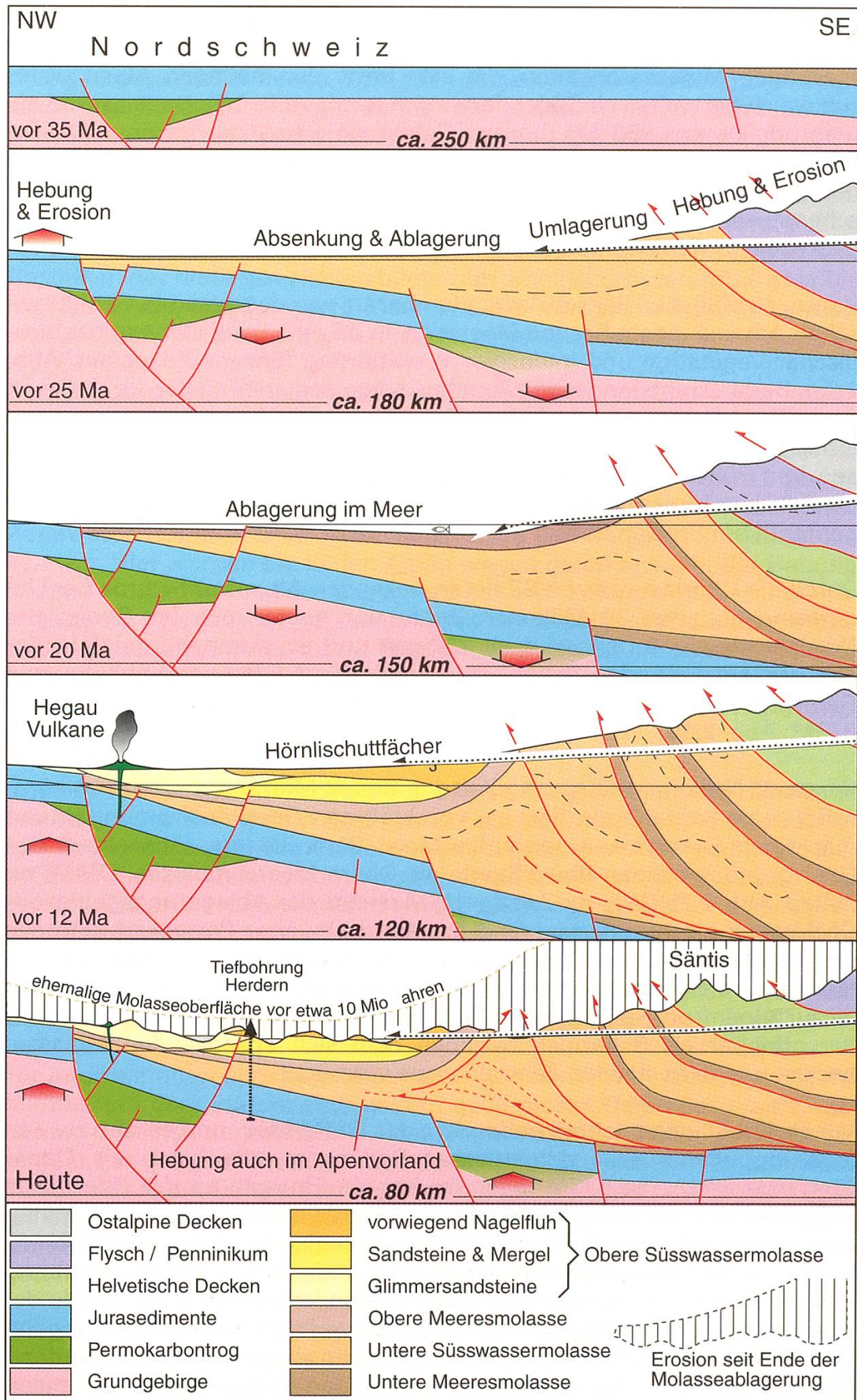


Abb. 2.2: Schema der Entstehung des Molassebeckens

Das Abtauchen der Alpenvorland-Kruste unter der Last des vorrückenden Alpinen Deckenstapels ermöglichte die Ablagerung der bis zu vier km mächtigen Molasseschichten, die sich unter den heutigen Alpen wahrscheinlich bis weit nach Süden fortsetzen (siehe Abb. 2.1). Dabei wurde ein ursprünglich ca. 250 km breites Gebiet zwischen der heranrückenden Alpenfront und dem heutigen Südrand Mitteleuropas sukzessive auf seine heutige Breite von ca. 50 km eingeengt. Abb. 2.2 zeigt in fünf Zeitbildern schematisch, wie sich die Geologen heute die Entstehung des Molassebeckens und die Auffaltungen am Ostschweizer Alpennordrand vorstellen.

Vor ca. 40 Millionen Jahren, im späten Eozän, war das gesamte Gebiet zwischen Alb und einem flachen Meer weit im SE eine Landebene mit subtropischer Vegetation und intensiver Verwitterung (Eozäne Peneplain, Abb. 2.2a). Dadurch entstand eine z.T. tiefgründige Verkarstung der Jurakalke, in deren Hohlräumen rote, erzhaltige Tone und Reste von reifen Quarzsanden erhalten geblieben sind (z. B. HOFMANN 1992). Die marinen Ablagerungen aus dem frühen Tertiär, der sog. Flysch und später auch Sande und Mergel einer frühen Molasse, der Unteren Meeresmolasse (UMM), waren bereits geprägt vom Erosionsschutt der entstehenden Alpen.

Durch die Überlast der von SE heranrückenden Alpenfront wurde der Untergrund ab etwa 30 Millionen Jahre vor heute auch im Gebiet der Nordostschweiz zunehmend abgebogen und es sammelten sich in der dadurch entstehenden Senke – als Erosionsprodukte des entstehenden Gebirges – die Sandsteine und Mergel der Unteren Süsswassermolasse (USM; Abb. 2.2b).

Vor ca. 20 Millionen Jahren, zur Zeit des älteren Miozäns, entstand im nördlichen Alpenvorland ein flaches, von kräftigen Gezeitenströmungen und mächtigen Sandbänken geprägtes Meer. Dank weiterer Absenkung des Untergrundes blieben diese Sande als Obere Meeresmolasse (OMM) erhalten (Abb. 2.2c). Wie zur Zeit der USM reichte das Ablagerungsgebiet der OMM etwa bis zum Aussenrand des Nordschweizer Permokarbondrogens (in Abb. 2.2 grün), dessen Randverwerfungen durch das Abbiegen der Vorlandkruste als Abschiebungen reaktiviert wurden. Die Zone des etwa parallel zur Alpenfront verlaufenden Permokarbondrogens (NPT, siehe Abb. 1.2) hat offenbar als Scharnier zwischen dem sich absenkenden Molassebecken und dem stabilen Zentraleuropa vermittelt.

Vor ca. 17 Millionen Jahren verlandete das OMM-Meer und es kam zur Ablagerung wieder rein terrestrischer Sedimente, die heute als Obere Süsswassermolasse (OSM) auch im Kanton Thurgau an der Oberfläche aufgeschlossen sind. Im Laufe des mittleren Miozäns vor ca. zwölf Millionen Jahren scheint die kontinuierliche Absenkung des Molassebeckens beendet gewesen zu sein und es begann die bis heute anhaltende Hebung des gesamten Alpenkörpers inklusive dessen Vorlandes. Zwar wurde der Abtragsschutt des aufsteigenden Gebirges weiterhin als Molasse abgelagert. Mit zunehmender Heraushebung erfolgte aber auch im Alpenvorland eine Umkehr vom Regime der Umlagerung und Ablagerung zu einem solchen der Umlagerung und Erosion. Die Nettobilanz der Materialtransporte wurde also zunehmend negativ. Vom zentralen Alpenkamm, wo sie heute ca. zwei mm/Jahr beträgt, nehmen die Hebungsbeträge bis zum Aussenrand des Molassebeckens sukzessive auf ± 0 ab. Durch diese jüngsten Hebungen im Alpenvorland wurden die obersten Schichten der Molasse von

nordalpinen Flusssystemen und seit Beginn des Quartärs vor allem durch die alpinen Gletscher bereits wieder entfernt. Wie detaillierte Untersuchungen mit verschiedenen Methoden zeigen, hält die Hebung der Alpen schon seit über 20 Millionen Jahren an, sodass heute Gesteine an der Oberfläche aufgeschlossen sind, die während der Entstehung der Ostschweizer Molasse noch viele Kilometer tief lagen. Es ist deshalb anzunehmen, dass seit Beginn der Molassesedimentation und damit der Heraushebung des Gebirges ein ebenso dicker Stapel von höheren Krustenteilen laufend erodiert, nach Norden transportiert wurde und teilweise in den Gesteinen der Molasse erhalten blieb, zum weitaus grösseren Teil aber bis ins Mittelmeer, das Schwarze Meer und die Nordsee weitertransportiert und dort definitiv als marine Sedimente abgelagert wurde.

Das Studium der Molassegesteine, ihrer Strukturen und ihres Fossilinhalts vermittelt uns wichtige Informationen über die damaligen Lebensbedingungen im Alpenvorland und vor allem über die Entstehung der Alpen selbst. So wissen wir heute, dass der Thurgau vor ca. 12 bis 17 Millionen Jahren eine weite, von ineinander verflochtenen Flussläufen, Auenwäldern und flachen Seen beherrschte Landschaft mit reichem Leben war. Hier wurden die in den Alpen wegen deren anhaltender Hebung laufend erodierten Gesteinsmassen als Schlamm, Sand und Kies um- und abgelagert. Wie in Abb. 1.2 schematisch dargestellt, sind die ursprünglichen Ablagerungsräume dieser Schuttmassen längst zwischen den heute noch vorhandenen Kristallinkernen der Alpen ausgequetscht worden. Die Molasse kann deshalb auch als Archiv der entstehenden Alpen bezeichnet werden.

Über den jüngsten Zeitabschnitt der lokalen Erdgeschichte seit dem Ende der Molassesedimentation besitzen wir nur sehr lückenhafte Informationen. Seit dem oberen Miozän herrschen im gesamten Alpenraum und seinem nördlichen Vorland kontinentale Verhältnisse mit Umlagerung und Erosion. Zwar werden die Erosionsprodukte des aufsteigenden Alpengebirges weiterhin ins Vorland transportiert, hier aber auf ihrem Weg in die definitiven Ablagerungsgebiete weiter im Osten (pannonisches Becken, Schwarzes Meer), im Süden (Mittelmeer) und später über den Oberrheingraben in die Nordsee nur «zwischenlagert».

Für Informationen über Vegetation und Landschaft während dem oberen Miozän und dem Pliozän sind wir auf geologische Daten aus weiter entfernten Gebieten angewiesen (Südalpen, Mittelmeer). Wichtige Kenntnisse über das globale Klima hat die Erforschung der Ozeanböden gebracht. Insbesondere die Tiefseebohrprogramme, mit welchen seit den 60er Jahren die jungen Sedimentabfolgen der Weltmeere systematisch untersucht werden, erlauben die Rekonstruktion einer lückenlosen globalen Klimageschichte. Diese zeigt etwa folgendes:

Während die Antarktis schon seit dem Oligozän zumindest zeitweise vereist war, d. h. das globale Klima schon seit gut 30 Mio. Jahren eine generelle Abkühlung erfahren hat, herrschten in den nördlichen Breiten noch warm gemässigte bis subtropische Verhältnisse. Anzeichen für grössere Eismassen auch auf der nördlichen Hemisphäre gibt es seit dem Pliozän. Vor ca. 2.6 Mio. Jahren scheint eine erste grosse Eiszeit geherrscht zu haben, wo sich Gletscher auch um den Nordpol sowohl in Eurasien wie auch in Nordamerika ausgebreitet haben.

Das Quartär gilt als Zeitalter der globalen Eiszeiten. Nach den Resultaten der modernen Klimaforschung beginnt es vor ca. 2.5 Mio. Jahren (siehe Abb. 4.2). Der überwiegende Teil bis zum Ende der letzten Eiszeit vor ca. 12 000 Jahren wird als Pleistozän, die heutige Nacheiszeit als Holozän bezeichnet.

Durch die wiederholten, oft sehr raschen Klimawechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten ist das Quartär geprägt von Phasen aussergewöhnlich grosser Reliefenergie: Vorstossen und Abschmelzen der Gletscher ermöglichten in kurzer Zeit grosse Erosionsleistungen und damit auch mächtige quartäre Sedimentserien.

Im weiteren Bereich der Kontinentalränder wurden diese Erosionsphasen verstärkt durch die enormen Schwankungen des globalen Meeresspiegels (bis ca. 130 m).

Das nördliche Alpenvorland bildete im späten Pliozän wahrscheinlich noch eine weite Ebene mit sanftem Relief, die über eine Aare-Donau nach Osten in Richtung pannonisches Becken und Schwarzes Meer entwässerte (siehe Abschnitt 4.3.1). Die quartären Vergletscherungen der Alpen, deren älteste Zeugen die sog. Deckenschotter darstellen, bewirkten durch ihre Tiefenerosion eine zunehmende Akzentuierung des Reliefs, lagerten aber auch bedeutende Mengen von teilweise grobem Schutt, sog. Moränen mit Findlingen, ab.

Während sich die rein fluviatile Erosion und Ablagerung immer im Bereich der lokalen Erosionsbasis, d. h. der Talböden abspielt, vermag der Gletscher durch sog. Tiefenschurf und subglazial zirkulierende Schmelzwässer tiefe Becken und Talrinnen auszuheben, in denen sich nach dem Abschmelzen des Eises die Seen bilden konnten, welche für unsere Landschaft so typisch sind. Die Gletscher können aber ihren Schutt auch weit über den aktuellen Talböden ablagern, und sorgen so für ein Nebeneinander und Übereinander von Moränen, Kiesen und Sanden sowie Seeablagerungen. So bleibt die genetische Gliederung und Interpretation mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet. Zudem sorgte das seit Ende der Molassezeit herrschende Regime genereller Umlagerung und Erosion für laufende Entfernung auch jüngster Sedimente.

Die vielfältige Landschaft zwischen Bodensee und Hochrhein ist also im wesentlichen ein Produkt der quartären Eiszeiten.

Für die Erforschung der Eiszeiten ist die Analyse der lückenhaften Ablagerungen, deren Sedimentstrukturen und ihr sehr spärlicher Fossilinhalt wichtig. Das Verständnis für die Erdgeschichte des Thurgaus beruht aber ebenso sehr auf der Beobachtung und Interpretation der Geländeformen. So hat denn die Geomorphologie gerade im Thurgau eine grosse Bedeutung; Quartärgeologie ist hier zu einem guten Teil Geomorphologie und Landschaftsanalyse (siehe Kapitel 4.3).