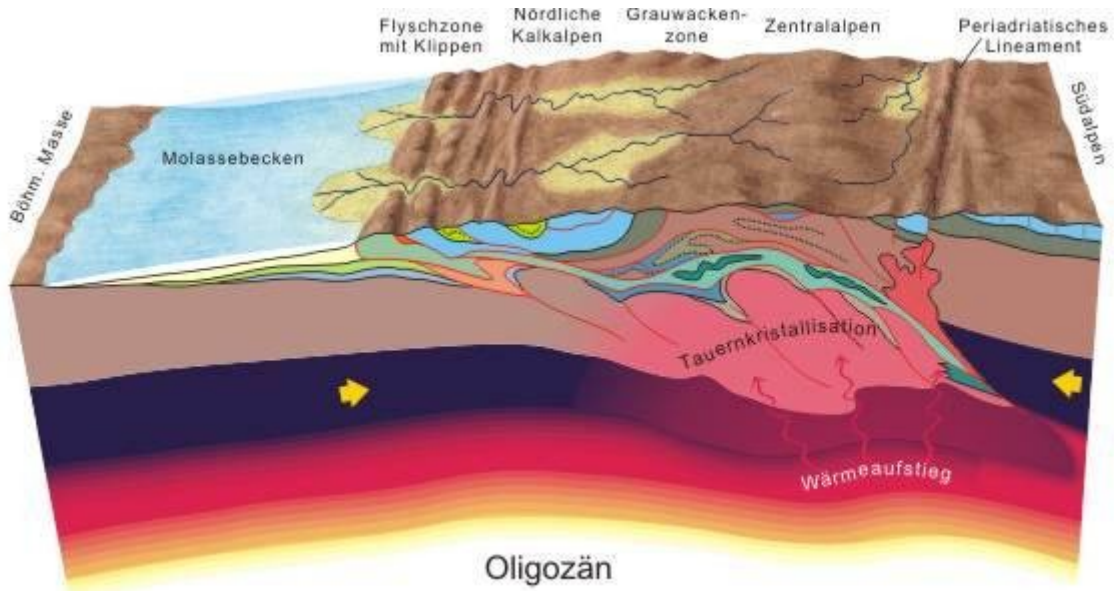
Die Entwicklung der Molasse um den Schwarzen Grat
Die Baueinheiten der Alpen

Dr. Elmar Schöllhorn

Ungefaltete und gefaltete Molasse

Ablagerungsräume (diachron)

Die Ablagerungsräume sind im Tertiär im nördlichen Molassebecken sehr stark in E–W Richtung gegliedert (zur Lage des Molassebeckens im Alpenraum, vergleiche Anhang 1, S.7). Die bekannte Gliederung in untere Meeresmolasse (UMM), untere Süßwasser-molasse (USM), obere Meeresmolasse (OMM) und obere Süßwassermolasse (OSM) hat zwar in vertikaler Abfolge durchaus ihre Richtigkeit, in horizontaler Verbreitung verläuft diese Grenze aber diachron, das bedeutet in der Zeit verschoben (Vergleiche Abb. Anhang 3, S.9).



Molassebecken – Alpenfaltung in den Ostalpen
(Quelle: Rocky Austria, Geologisches Landesamt Östereich, Wien)

Die terrestrische Molasse im Aufschluss Kohletobel bei Rohrdorf/Isny

Zeitliche Eingliederung (Zeittafel, Anhang 2; S.8):
Im Bereich des Rohrdorfer Kohletobels treffen wir Ablagerungen aus dem Übergang vom mittleren- zum oberen Miozän an. Das entspricht in der Paratethys-Gliederung dem oberen Samartian und dem unteren *Pannonian*. Dieser Zeitabschnitt entspricht ungefähr 1,5 Millionen Jahre. Das *Pannonian* begann vor 11,2 Millionen Jahren.
Die Einstufung der Molasseschichten erfolgt im Adelegg Gebiet mittels Säugetierzonen (Neogen Mamal Units 5-8). Die Bestimmung über Pflanzenreste (mikro/makro) ergibt für die OSM die Phytozone OSM 3a. 3b, und 4. Letztere wurde für den Aufschluss im Kohletobel bestimmt. Eine zeitgleiche Flora finden wir in den Tongruben von Acheldorf in Niederbayern. Bei der Säugetierfauna entspricht das in etwa der von Hipparion (Urpferd) geprägten Säugetierfauna am Höwenegg im Hegau. Die Zeitdaten wurden

der Veröffentlichung von Mark Eberhard (1987) und der Zeittafel für das Tertiär vom Geolog. Landesamt von Baden Württemberg, 2004 entnommen.

Ablagerungsbereich der Sedimente (zu deren Entwicklung Abb. Anhang 3, S.9):
Die Gesteine, die wir in diesem Profil antreffen, gehören der Molasse an. Die Gesteinsschichten lagern an der Adelegg fast horizontal und fallen nur mit 0,5 bis max. 4 Grad nach NNW ein (Diplomarbeit M. Fetzer, 1984). In etwa 10 km Entfernung nach S erfolgt der Übergang in die gefaltete Molasse (Aufschluss Seltmans).
Wir haben hier einen klassischen Sedimentationszyklus von groben Konglomeraten, über Sandsteine zu Mergeln vorliegen. In diesem klastischen Ablagerungsregime nimmt die Energie des Transportmittels Wasser kontinuierlich ab. Im Gegensatz dazu steht die Ablagerungszeit, die zunimmt; vereinfacht gesagt: in den Tonen steckt die meiste Zeit.
Die Ablagerungen erfolgten in einem terrestrisch, limnisch (Seen, Tümpel, Fließ-gewässer) geprägten Milieu.
Grobklastischen Ablagerungen deuten auf ein kühleres, im alpinen Raum kaltes, Klima hin. Tatsache ist, das, die Hochgebirgszonen praktisch vegetationsfrei waren und daher stark der Erosion ausgesetzt. Auch im Hinterland wuchs nur eine spärliche Vegetation. Die spärliche Vegetation insgesamt war Grund für die hohe Erosion und damit den erhöhten Sedimenttransport. Einen ähnlichen Effekt hat heute wüsten- bzw. halbwüsten- artiges, trockenes Klima, wie z. B. aktuell in den Vorbergen des Himalaya. Insgesamt zeigen die Sedimente aber auch in plötzlichen Schuttsrömen (Unwetter) abgelagerte Konglomerate.
Das Klima (zitiert nach Eberhard (1987)) in der oberen Süßwasser Molasse: Die Fossilfunde ergeben für die *feinklastischen Ablagerungen* der OSM ein feucht-temperiertes, schwülwarmes Klima vom Cfa-Typ (Klimatyp nach Köppen: moist subtropical climate) in den Basisschichten und den mittleren Partien (Kapartian-Badenian) an. Dieses wird in den oberen Schichten (Badenian-Samartian) von einem kühleren, trockeneren Cfa-Typ abgelöst. Im oberen Samartian (Kohlefundstelle im Rohrdorfer Kohletobel) wird das Klima wieder feuchter und wärmer.

Beschreibung der Sedimente im Kohletobel

Konglomerate (grobklastisch)
Diese grobklastischen Konglomerate werden im Allgäu auch *Nagelfluh* oder *Herrgottsbeton* genannt. Letzteres beschreibt sein Aussehen ziemlich exakt.
Die Korngrößen- Zusammensetzung bewegt sie sich zwischen der Mittel- bis Grobkiesfraktion (10 bis max. 30 cm). Das Maximum der Korngröße findet sich immer im Liegenden der Konglomeratbank. Das Bindemittel ist wesentlich feiner und hier von graugrüner Färbung, die ockerfarben verwittert. Die graugrüne Farbe deutet auf reduzierende Ablagerungsbedingungen hin. Das Eisen liegt in seinem 2 - wertigen Zustand vor. Diese Bedingungen ändern sich in den südlich gelegeneren Ablagerungsbereichen (vergleiche Aufschluss Seltmans). In Bereichen, wo das Bindemittel fehlt, können sie diagenetisch durch Calcit verkittet sein.
Die Gerölle in den Konglomeraten können folgenden Gesteinsgruppen zugeordnet werden (nach Schiemenz (1960), Aufschluss Kürnach:
Flyschgesteine: 66%; Juragesteine: 18%; Triasgesteine: 9%
Gneis: 7%; der Anteil der Quarzgeröllen blieb unberücksichtigt.

Die Gerölle in der OSM weisen auf Liefergebiete hin, die heute bei Sonthofen, im Kleinen Walsertal, am Arlberg und bei Partenen liegen. Die Front der alpinen Decken hat sich während des Miozäns immer weiter nach N vorgeschoben und somit standen immer neue, orogen bewegte, Liefergebiete für die Sedimente zur Verfügung.
Das Flusssystem, das die Sedimente lieferte, wird in der (älteren) Literatur gerne Uriller genannt.

Sandsteine
Sie sind als Linsen in die Konglomeratbänke eingeschaltet und bewegen sich im Mittel- bis Grobsandbereich. Sie können kontinuierlich aus den Mergeln hervorgehen und bilden dann Feinsande. Die Sande sind calcitisch gebunden und zeigen oft Schrägschichtung. Ihre Farben sind im Kohletobel meist grün/grau; bei Verwitterung werden sie ockerfarben.

Mergel (feinklastisch)
Je nach Ton/Sandgehalt kann man von Mergelton (bei hohem Kalkgehalt), Tonmergel oder Sandmergel sprechen. Auffällig ist ein hoher Anteil an hellem Glimmer. Er braucht am längsten, um in der Wassersäule abzusinken und zu sedimentieren, spricht also für sehr ruhige Ablagerungsbedingungen. Ihre bergfrische Farbe ist wieder grau/grün. In diesen Sedimenten können wir eingespülte Pflanzenreste und Landschnecken finden. Die Mergel sind primär gut verfestigt, weichen aber, bedingt durch den Tongehalt, leicht auf und neigen dann zu Hangrutschungen. In diesen Sedimenten sind oft größere Gerölle und Gerölllinsen eingelagert.

Kohlebildung und Rekonstruktion des Ablagerungsraumes im Rohrdorfer Kohletobel
Es gibt generell zwei Bereiche der Kohlebildung die sich unterscheiden lassen: paralisch und limnisch. Die Kohlen die wir an der Adelegg und bei Isny am Menelzhofer Berg finden, gehören den limnischen Kohlen an. Sie wurden meerfern in Seen und Flüssen abgelagert. Es finden sich Süßwasserschnecken und Muscheln zusammen mit den Kohlen. Die pflanzlichen Reste wurden unter aneroben (ohne Sauerstoff) Bedingungen zu Ligniten umgewandelt; dies sind im weiteren Sinne Braunkohlen. Die Molassekohlen werden auch Glanz- oder Pechkohlen genannt. Hier bewirkte der Sediment-Auflastdruck (und die Faltung der Sedimente) eine stärkere Inkohlung der Pflanzenfasern, als bei gewöhnlichen Braunkohlen. Bei den aus den Baumstämmen hervorgegangenen Xyliten kann die Zellstruktur des Holzes noch hervorragend zu erkennen sein.

In diesen flussnahen, oft überschwemmten, Auenwäldern wuchsen folgende Bäume und Pflanzen:
Lichthölzer:
Glyptostrobus europea (chinesische Wasseryzypresse)
? *Taxodium* sp. (amerikanische Sumpfzypresse)
Junglans acuminata (Walnuss)
Acer giganteum (Ahorn); *Acer tricuspidatum* (Ahorn); *Fraxinus* sp. (Esche)
Quercus cruciata (Eiche); *Populus mutabilis* (Pappel);
Schattenhölzer:

Persea priceps (Avocado)
Melosima sp. (nur fossil)
Byttneriophyllum tiliaefolia (typ. Miozänfossil, lindenblattförmig)
Sträucher:
Smilax weberi (Baumwinde)
Typha latissima (Rohrkolben)
Diese überschwemmten Wälder findet man heute in SE Asien und auch in den Everglades der Vereinigten Staaten; wir können als ein ähnliches Klima für die Ablagerungen im Kohletobel annehmen.

Kurzer Exkurs in die Botanik:
Bäume aus der Familie der Taxodiaceae
(nicht einfach zu unterscheiden als Fossilien)
Abteilung Coniferophyte
Klasse: Pinopsida
Ordnung: Pinales
Familie: Taxodiaceae
Gattung:

Glyptostrobus, *sp.* fossil

Glyptostrobus pensilis*, rezent*

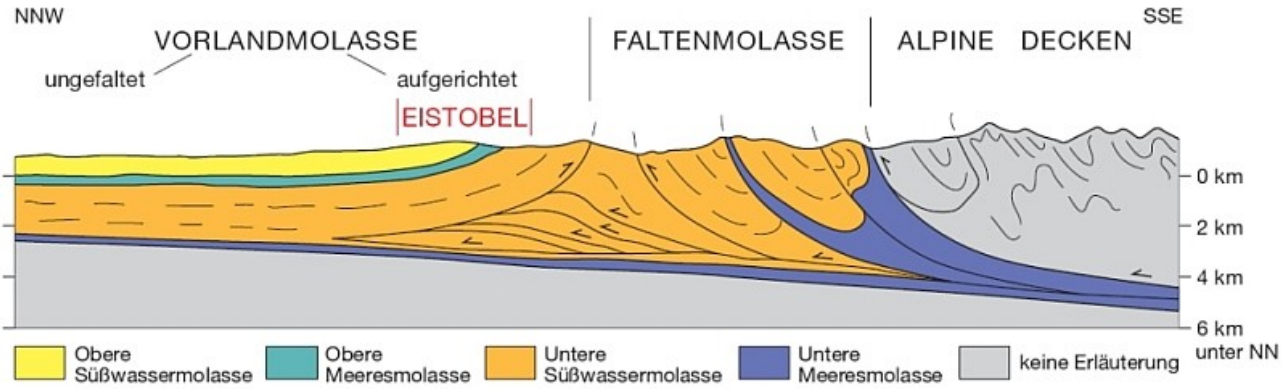
Typischer Wald mit den beiden Gattungen *Glyptostrobus* und *Taxodium* in China (re.)
Quelle:
Wikipedia, 4.07.21

Die Verbreitung beider Gattungen in Vietnam/China und in Mittel- und Nordamerika zeigt das gemeinsame Vorkommen beider Baumgattungen.
Die Beschreibung des jeweiligen fossilen Baumes ist in seiner Gesamtheit schwierig, da wir im Normalfall immer nur Teilstücke, hier Teile des Stammes, Brettwurzeln oder Wurzelknie vorliegen haben. Wenn wir die Beblätterung finden, zeigt sich, dass am selben Baum die Ausbildung der Blätter (hier: Nadeln) sehr vielgestaltig sein kann. Eindeutigere Zuordnungen lassen Fructifikationen (Zapfen) zu, sofern sie gefunden werden.

Der Übergang terrestrische Molasse/ marine Molasse

Alter Steinbruch bei Seltmans/Tal der oberen Argen

Die tektonische Stellung



Schnitt durch das Alpenvorland; (Quelle: bayrisches Landesamt für Geologie, München)

Im Bereich des Argentales bei Seltmans geht die gefaltete Molasse im S in die ungefaltete Molasse über; hier im Übergangbereich sind die Schichten leicht schräg gestellt, das heißt sie wir müssen die Schichten bei unserer sedimentologischen Betrachtung etwas nach S zurück kippen, um sie in ihre Ablagerungsposition zu bringen.
Der Aufschluss selbst ist künstlich; er war im letzten Jahrhundert ein Steinbruch; eine Bahnlinie von Isny nach Kempten führe an ihm vorbei. Heute wird er als Klettergarten genützt.

Zeitliche Eingliederung

Oberere Meeresmolasse
Während der Zeit des unteren Miozäns (Burdigalium, ab etwa 20 Millonen Jahre) lag dieser Ablagerungsbereich am S-Rand der Molasseküste, des von SW in das Molassebecken vordringenden Meeres.

Sedimente und Ablagerungsraum

Die rötlich und grünlich gefärbten Ton-und Sandsteine im Liegenden sind für den küstennahen Faziesbereich typisch. Je nach Intensität der Wasserbewegung wurden gröbere oder feinere Sandsteine abgelagert. Das Strömungsregime veränderte sich ständig und wird in den Sedimenten als Kreuz-, Rippel-, Flaser-; oder Schräg-schichtung abgebildet. Diese Schichtungen sind typisch für einen Wattbereich mit täglich wechselnden Strömungen. Auch aktuell sehen wir in einem Sand- bzw. Schlickwatt die charakteristischen Wellenrippeln und kleine Sanddünen.

1. Aufschluss im Kohletobel/ Rohrdorf/Mai 2021 (re.)

2. Sedimentablagerung in Flusssystemen (Ausschnitt aus Abb.1) Quarzsande oben mit feinen Kohleschminzen: niedrigere Wasser-energie; Kiesschüttung unten: hohe Wasserenergie

3. Holz in Gagaterhaltung

4. Aufschluss Seltmanns: Wechsel von Sand und Tonschichten (rot); im Top: Gerölle mit Sand verbacken (zementiert). Sedimentation im Übergang Meer/Land

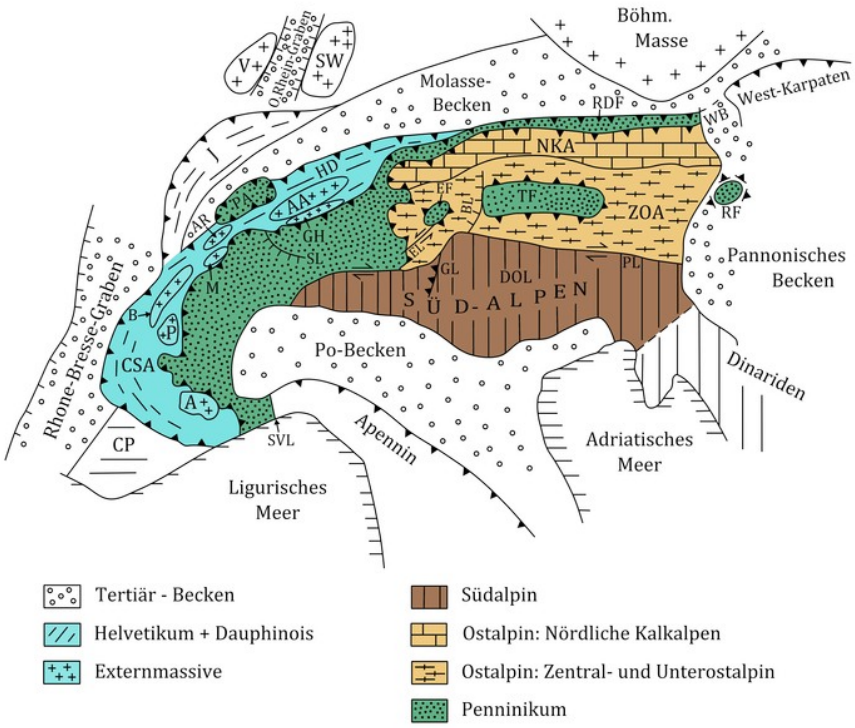
in der Mitte: sigmoidale Schichtung (Wellenrippeln)

grünliche Farben (Fe^{2+}) deuten auf marinen Einfluss hin
rötliche Farben (Fe^{3+})weisen auf Oxidation unter terrestrischen Bedingungen hin.

5. (re.) Austernschale in grünlichen Sanden (mariner Einfluss)
(alle Fotos Schöllhorn Mai/Juni 2021)

Sturmflutereignisse manifestieren sich durch linsenförmig eingelagerte gröbere Sedimente, die ursprünglich Kanäle darstellen.
In dieses Watt drangen dann langsam die Schüttungen gröberen Verwitterungsmaterial, aus dem S, die immer weiter nach N in das Molassebecken vordrangen und dabei die vorhandenen Sedimente teilweise erodierten. Es bildete sich die eigentliche Molasse, hier des Hochgratfächers, der seine Sedimentfracht ins Meer ablud.
Aus den Gesteins-Komponenten in der Nagelfluh können wir die damaligen, heute abgetragenen, Liefergebiete ableiten. Die Zusammensetzung beträgt 40% fein- bis mittelkörnige Kalksandsteine und etwa 5% Gneise und Granite; den Rest machen Kalksteine und Dolomite aus. Aus dieser Verteilung können wir annehmen, das sehr viele Flyschgesteine (die Kalksandsteine), weniger Kalkalpin und sehr wenig Grundgebirge aufgefaltet und der Verwitterung ausgesetzt waren.
Auffällig ist die Färbung der Gesteine. Dabei stehen rote Farben für stärker aufoxidiertes Eisen (Fe^{3+}) und grüne Farben für reduziertes Eisen (Fe^{2+}). Etwas vereinfacht lässt sich sagen, daß das stärker oxidierte Eisen bei der Verwitterung an Land gebildet wurde, während die grünlichen Farben auf reduzierende Bedingungen im Meerwasser hinweisen können. Ein weiterer Hinweis auf die marinen Ablagerungs-bedingungen können die Schalen von Austern gewertet werden. Diese dickschaligen Austern sind typisch für einen Küstenbereich mit intensiver Wasserbewegung. Die Schalen können dabei, bei Flut, ziemlich weit landeinwärts transportiert werden. Rezent gibt es auch Austern, die im Brackwasserbereich leben. Die hier im Aufschluss vorliegenden Austerschalenbruchstücke hatten sicherlich einen längeren Transportweg.

Anhang 1: Schemat. Gliederung der Alpen mit umgebenden Molassebecken



Quelle: Geologie der Alpen I, www steinmann uni-bonn.de..

Literatur (pars):

Eberhard Markl (1987): Entwicklung von Sedimentation, Flora, Fauna, Klima und Relief von Mittel-Miozän bis Quartär zwischen Arlberg (Vorarlbeg/Tirol und Adelegg (Allgäu; Dissertation ETH Nr. 8245, Zürich

Fessler, W.; Fezer, M.; Goos, W. Und Reuchlin, H.; Geologie von Adelegg und südl. Kürnachwald; Diplomarbeit (1987) Uni Stuttgart; www.geologie.adelegg.info/indes.htm

Doppler, g., et al (2004) GeoBavaria , 600 Milionen Jahre Bayern, Bayrisches Landesamt für Geologie, München

Erdgeschichte 3-Molasse www. Ruthfrost.ch/Horgen0/Erdgeschichte3-Molasse.htm; aufgerufen Mai 2009

Geologisches Landesamt für Geologie, Baden Württemberg, geologische Karte; aufgerufen am 29.05.21

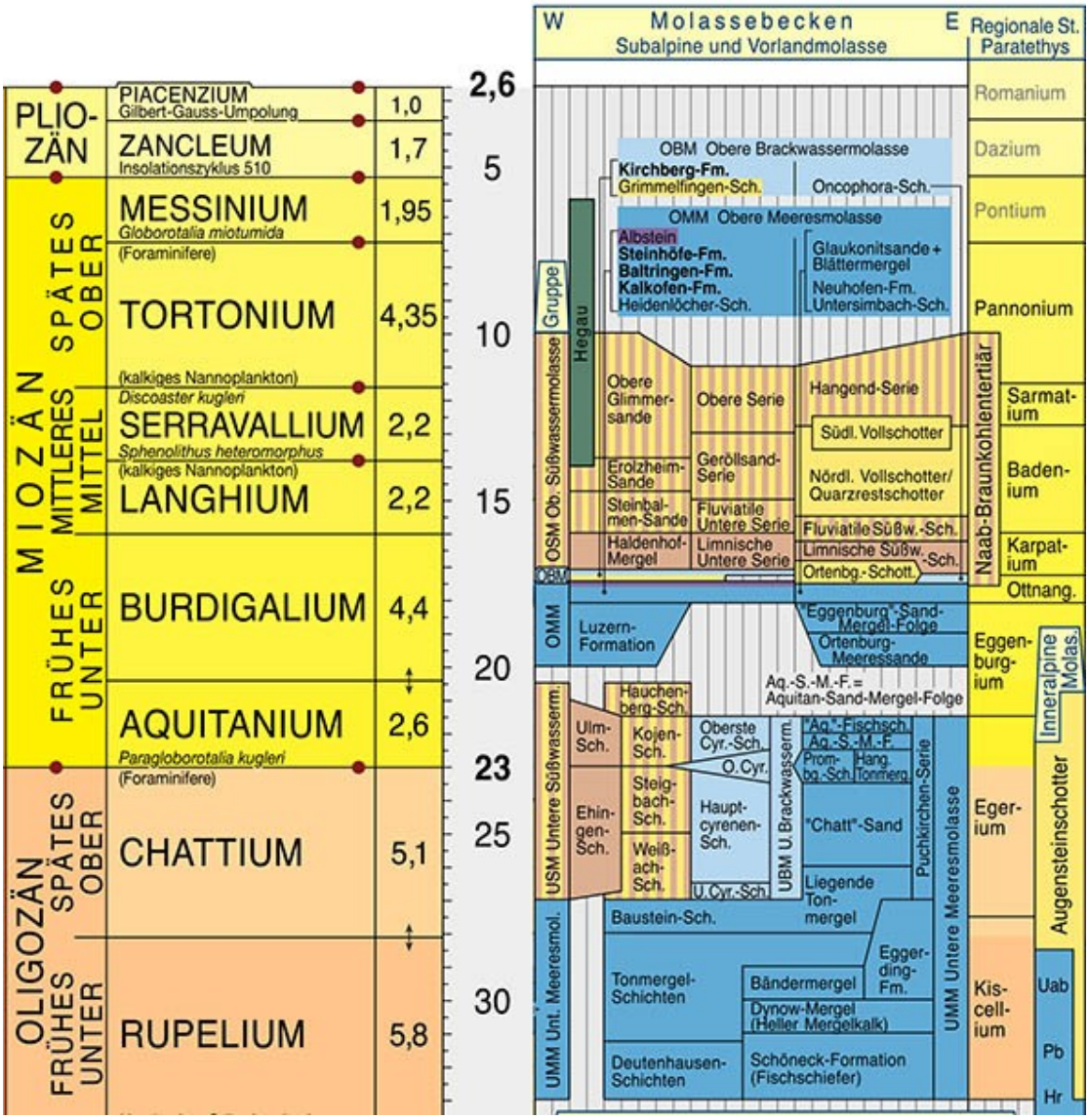
Lemke; K. Geologie von Bayer; I Das bayr. Alpenvorland vor der Eiszeit; Schweitzerbarth`sche Verlagsbuchhandlung, Suttgart 1988

Molasseprofil Eistobel; Internetangebot Bayrisches Landesamt für Geologie

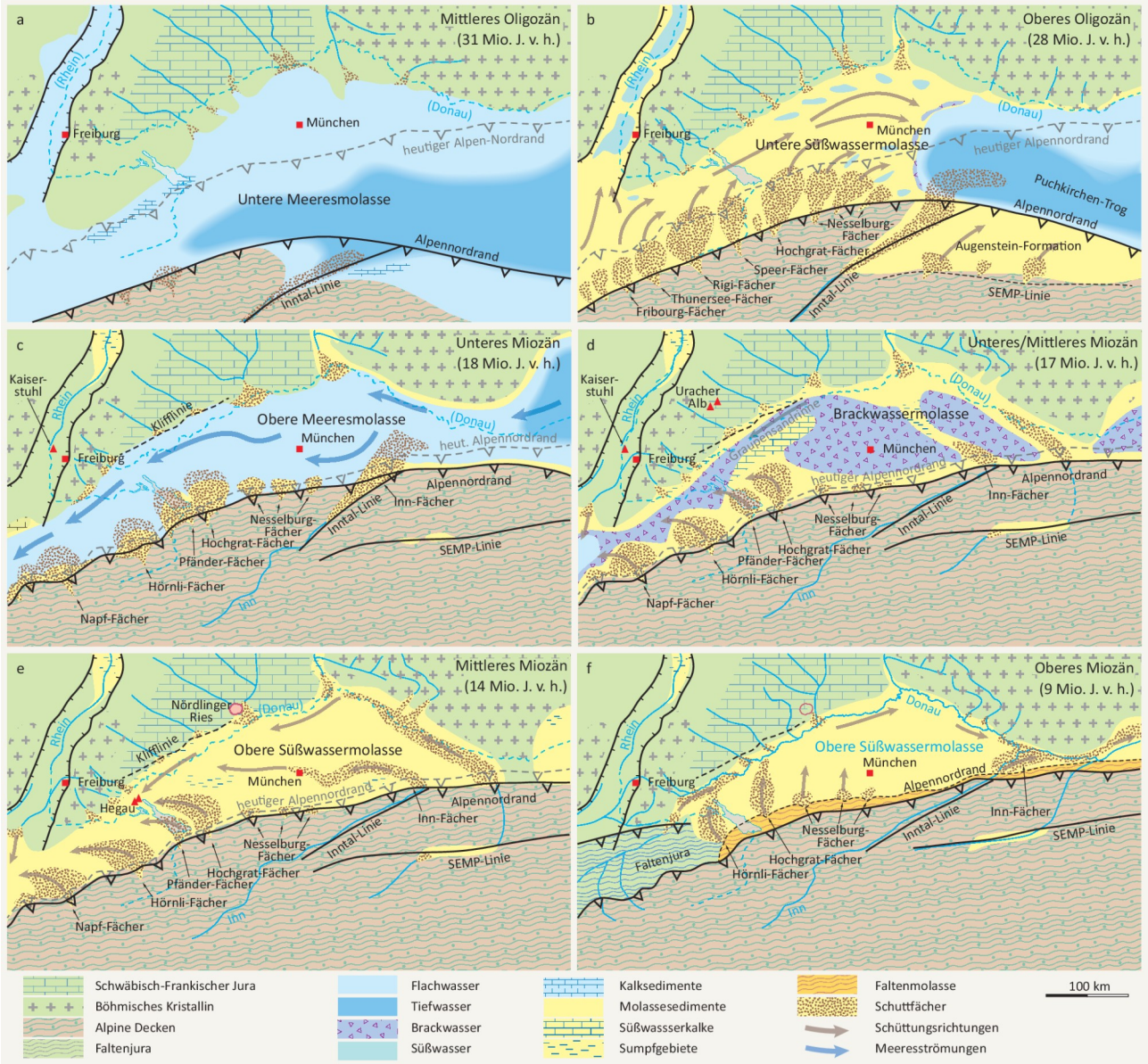
Geotop Seltmans; Internetangebot Bayrisches Landesamt für Geologie

Taxodiaceae:
Yu Yong-fu: Origin, Evolution and distribution of the Taxodiaceae; acta Phytotaxonomica Sinica 1995; www.plantsystematics.com/quikan/epaper...

Anhang 2: Zeitafel Tertiär



(Quelle LMU München):



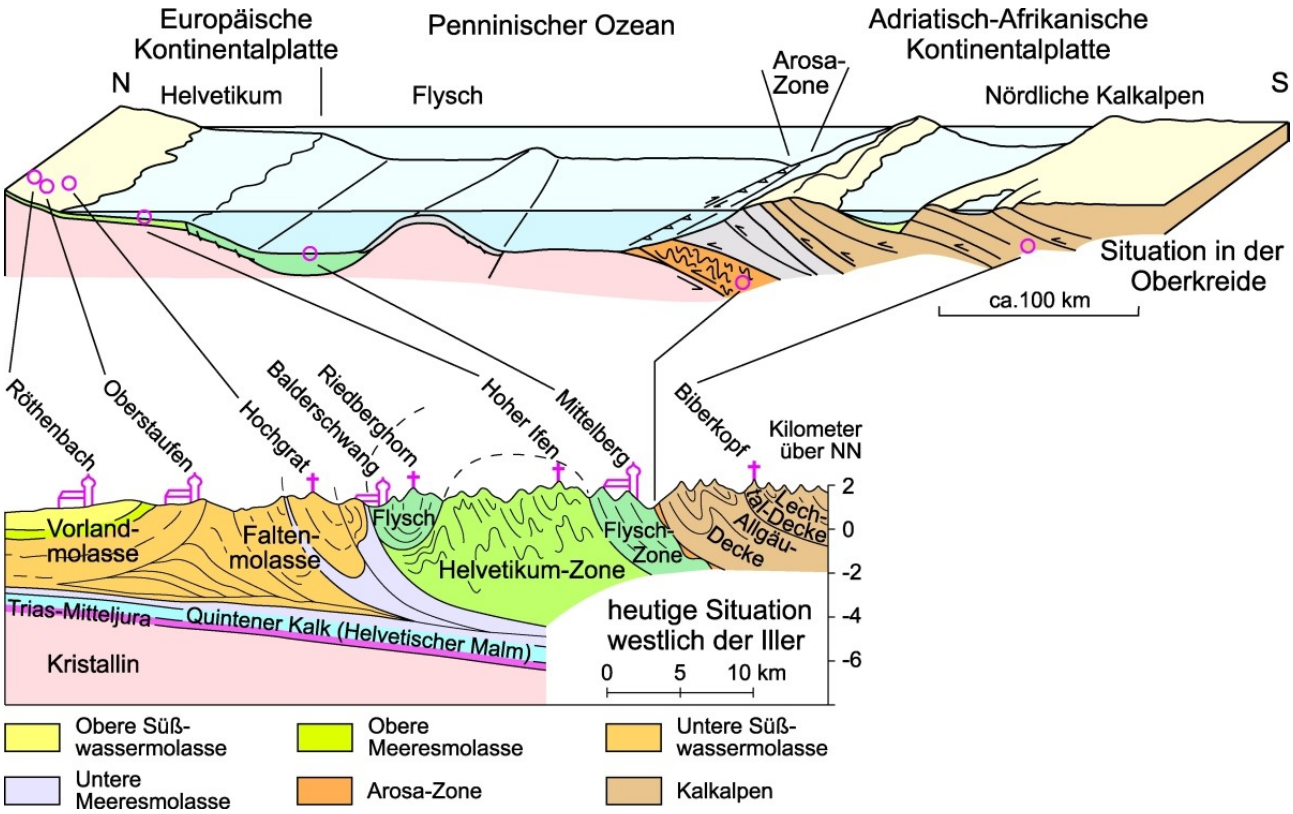
(Quelle: Molasse-Vorland Becken; Springer link, abgerufen 15.8.2020)

Molassesediment im Aufschluss Seltmanns; E.S.21

Baueinheiten der Alpen

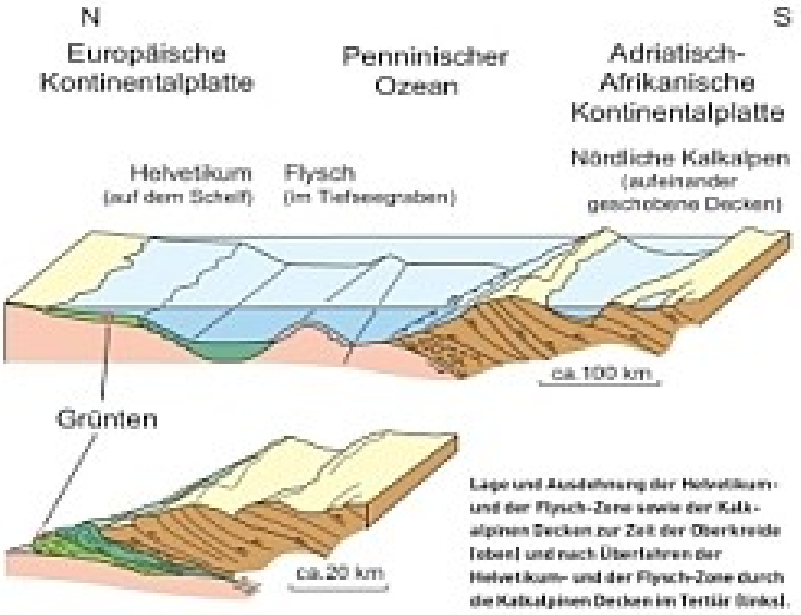
Mögliche Standpunkte für die Fernerkundnung der Alpen:
Alpe Freitags bei Buchenberg, Parkplatz an der A7 bei Weitnau….

Rekonstruktion der Ablagerungsräume zur Zeit der oberen Kreide (westlich und östlich der Iller):



(Quelle: LfU Bayern, München))

Westlich der Iller grenzt ist der Flysch über das Helvetikum gefaltet und grenzt an die gefaltete Molasse



(Quelle: LfU Bayern, München))

Östlich der Iller (Grünten) grenzt das Helvetikum direkt an die gefaltete Molasse

Die Ablagerungsräume befanden sich zwischen der Europäischen Platte im N (vereinfacht: Helvetikum) und der Adria Plattform im SE-, bzw. Afrikanische Platte, im SW. (vereinfacht: Ostalpin/Kalkalpin). Dazwischen wurden die Sedimente des Penninischen Ozeans (hier Rhenodanubischer Flysch) abgelagert (vergl. Abbildungen auf den folgenden Seiten).

Von den oben genannten Standpunkten aus muss beachtet werden, dass der Baustil der Alpen sich an der S-N verlaufenden Achse des Illertales westlich und östlich davon unterscheidet.
Sichtbar wird dies prinzipiell daran, daß die Einheiten des Helvetikums am Burgberg/ Grünten (östlich der Iller) weiter nach N verschoben sind, wie westlich der Iller (Helvetikum am Hirschsprung/Obermaiselstein – Hoher Ifen). Das Illertal ist also eine tiefer greifende tektonische Zone, die den Baustil der Alpen in N-S Richtung beeinflusste; durchaus vergleichbar dem Rheintal, das auch geografisch Ost und Westalpen trennt.
Ein weiterer erkennbarer Unterschied sind die Sedimente des Flysch: westlich der Iller sind sie als Decke über das stationäre Helvetikum überschoben worden und finden sich heute als eingeschobene Einheit zwischen dem Helvetikum und der gefalteten Molasse. Im E grenzt das Helvetikum direkt an die gefaltete Molasse (Murnauer Mulde), erkennbar auf der E Seite des Grünten, oberhalb des Grüntensteinbruchs.
Auch das tektonische Bild der gefalteten Molasse unterscheidet sich: Westlich der Iller sind es steilgestellte, abgescherte Muldenstrukturen, während die Molasse östlich der Iller in weitgespannte Mulden gelegt wurde.

Gipfelfluhr aus Hauptdolomit (Nor) in den Allgäuer Alpen S Hindelang. E. S.21

I.) N **S**

Vorland ***Alpen***

Lage: *Europäischer Platte* *Adria Plattform*

Tektonische Einheiten: **ostalpine Decken (II.)**

Faltenmolasse

aufgestellte Molasse

ungefaltete Molasse

Ablagerungsraum: Flaches Becken mit Subsidenz; Wechsel zwischen terrestrisch und marin — Tethys-Meer

---

Ostalpine Decken westlich der Iller (der Flysch wurde über das Helvetikum überschoben)

II.a)

Lage:	*Penninikum*	*S-Rand von Europa*	*Penninikum*	*Adria Plattform*
Tektonische Einheiten:				**Ostalpin (III.)**
	Flysch (überschoben)		Flysch	
		Helvetikum		
Ablagerungsraum:		**Schelfbereich**	**Tiefsee**	**Tethys-Meer**

Ostalpine Decken östlich der Iller (E der Iller, grenzt das Helvetikum direkt an die gefaltete Molasse)

II.b)

Lage:	*S-Rand von Europa*	*Penninikum*	*Adria Plattform*
Tektonische Einheiten:			**Ostalpin (III.)**
		Flysch	
	Helvetikum		
Ablagerungsraum:	Schelfbereich	Tiesseebecken	Tethys-Meer

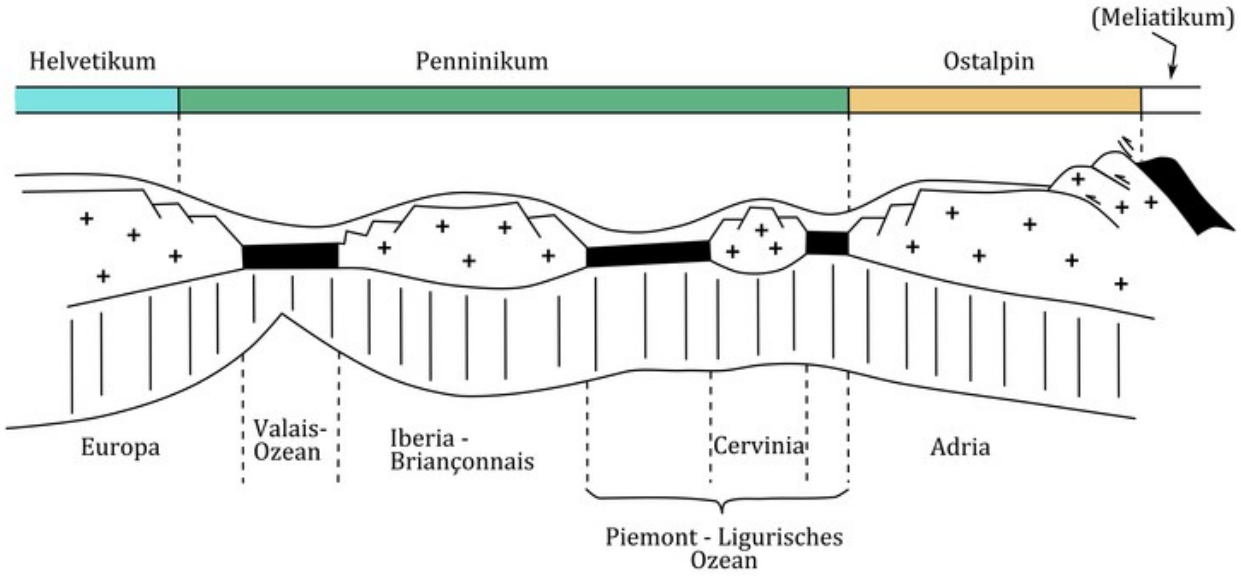
III.)

Lage:	*S-Penninikum*	*Adria-Plattform*
Tektonische Einheiten:	**Arosazone**	Lechtal Decke
	Ophiolit Melange	Allgäudecke
Ablagerungsraum:	Tiefseebecken mit submarinem Vulkanismus Jura-?Kreide	u.a. Karbonatplattformen in der Trias, später sich spreizendes Meeresbecken (Jura-Kreide)

Alpenpanorama von Eschach/Buchenberg aus: im W Allgäuer Alpen im E Zugspitze

Alpenblick nach S von der Lorettokapelle/Wolfegg; links: Hochgrat; Bildmitte re Widderstein E.S. 2018

Schematisches Profil am Ende der Unterkreide (vergl. Darstellung oben)



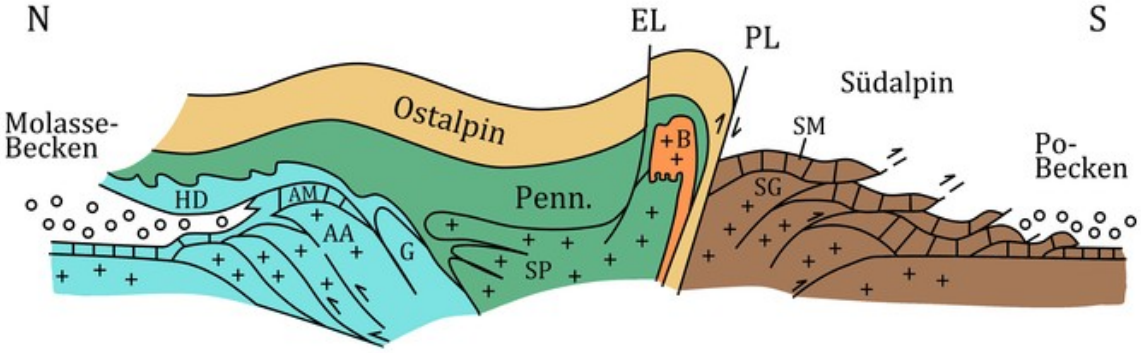
Kreuzsignatur: kontinentale Kruste; senkrechte Schraffur: lithosphärischer Mantel; weiß: Sedimentbedeckung, schwarz: ozeanische Kruste;
Quelle: Geologie der Alpen I, www steinmann uni-bonn.de..

In der Abbildung S.13 ist gut zu erkennen, wie weit die heute in Decken überein- **14**
ander geschobenen Ablagerungsbereiche (siehe Abbildung S.13 unten) währen ihrer Sedimentation auseinanderlagen. Zwischen den (granitischen) Sockeln der auseinanderdriftenden Platten bildete sich ozeanische Kruste und darüber lagerten sich marine Sedimente ab. Je nach Lage bildeten sich tiefmarine Sedimente (Tiefsee Schlämme, Radiolarite) in den Becken. Auf höher gelegenen Bereichen wurden Schwellenkalke (Adneter Marmor, Trias-Jura) abgelagert. Auf den Schelfbereichen bildeten sich in der Unterkreide Flachwasserkalke (u.a. Schrattenkalk) und im Eozän die Nummulitenkalke mit Bildung von Eisenerzlagerstätten.

Schrattenkalk (Lochbach, W Oberstdorf)
Rudistenkalke
untere Kreide, Helvetikum; E.S.2014

Nummulitenkalk mit Seeigel (Grünten)
durch Hämatit (Fe_2O_3) rot gefärbt
Eozän,Helvetikum; E.S. 2014

Schematisches N-S Profil der Decken an der Ostalpen/Zentralalpen Grenze



blau: Helvetikum; grün: Penninikum; hellbraun: Ostalpen; dunkelbraun: Südalpen; orange: Bergell Pluton
HD: Helvetische Decken; AM: Permo-Mesozoikum; AA: Aaarmassiv; G: Gotthardmassiv; B: Bergell; SP: subpenninische Decken; EL: Engadiner Linie; PL Periadriatisches Lineament
Quelle: Geologie der Alpen I, www steinmann uni-bonn.de..

Auf dieser Darstellung erkennt man, wie das Molassebecken im N von den helvetischen Decken im S überfahren wurde. Die Grundlage sind Permo-mesozoische Sedimente (Verrucano). Darüber lagern die Penninischen Decken; sie entstammen sehr komplexen

Ablagerungsräumen (meist tiefmarin) und werden stark gegliedert (Nord-;Mittel-, Südpenninikum). Das Ostalpin überfuhr als letzte Deckeneinheit das Penninikum, in den Ostalpinen Decken (die im W bis zum Matterhorn reichen!) finden wir die typischen Gipfelbildner der Allgäuer Alpen: den Hauptdolomit (Allgäudecke) und im Tannheimer Tal den Wettersteinkalk (Lechtaldecke). Beides sind typische Sedimente eines Schelfbereiches des Tethys Meeres.

Charakterisierung der Baueinheiten

Molasse

Die Molassesedimentation geht kontinuierlich aus der Flyschsedimentation in den tiefer gelegenen marinen Trögen hervor. Letztere werden durch Sedimente aufgefüllt und durch die Kollision der Kontinente und den sich ablösenden und abtauchenden, Lithosphärenplatten geschlossen. Dies geschieht im Übergang vom Eozän zum Oligozän. Die Küste der Europäischen Platte im Norden wird ebenfalls gehoben und wir finden auf ihr erst weiter im E (bei Regensburg) kretazische Sedimente. Die mächtigsten Sedimentpakete finden sich in unmittelbarer Nähe zu den sich auffaltenden Alpen.. Mehrere 100 Meter mächtig sind die Sedimente am Rigi (Vierwaldstätter See, CH) aus dem Oligozän (USM) und die Sedimente am Hochgrat/Allgäu aus dem Miozän (OSM). Je weiter wir uns vom Liefergebiet entfernen, desto feinkörniger werden die Sedimente. Sie reichen nach N bis in den Bereich der Donau. Mit der Entfernung vom Liefergebiet wird die Sedimentanlieferung sukzessive geringer und somit die Sedimentmächtigkeiten.
Das Molassebecken wird als Wechselspiel zwischen der Hebung der Alpen und der daraus folgenden Subsidenz des Alpenvorlandes mit der Ausbildung des eigentlichen Molassebeckens gesehen. Die Absenkung des Vorlandes besteht aus zwei Komponenten: der tektonischen Subsidenz und der Subsidenz durch den Auflastdruck der überlagernden Sedimente. Die Hebung erfolgte nicht gleichmäßig, sondern diskontinuierlich; je stärker sie war, desto stärker war die Erosion und damit die Menge der gebildeten Sedimente. Auch das Klima spielte eine Rolle bei der Erosion. Die allgemeine Abkühlung des Weltklimas im Miozän, leistete der stärkeren Abtragung Vorschub. In größerer Höhe wuchsen weniger Pflanzen und die Niederschläge waren stärker. Dieses Klima spiegelt sich auch im Pflanzenwuchs in den Tiefländern wieder; wir haben dort Galeriewälder an den stark meandrierenden Flusssystemen. Es war im Miozän eine Savannenlandschaft mit vielen Anklängen an heutige Savannen-Landschaften in Afrika, mit reicher Fauna. In dieser Zeit entwickelte sich auch Udo, vielleicht einer unserer Vorfahren, in den Wäldern des Allgäus.
Die Gebirgsfront schritt im Laufe von Oligozän und Miozän immer weiter nach N vor und überfuhr die früher gebildeten Ablagerungen.
Die Molassesedimentation wechselte zweimal zwischen überwiegend terrestrischen Einflüssen und marinen Bildungsbedingungen. Bei diesem Meeresarm, der sich über das Rhonetal im SW und die Burgundische Pforte erstreckte und das Süddeutsche Molassemeer bis nach Wien im E mit dem Mittelmeer verband. Mann spricht bei diesen Ablagerungen auch von der Paratethys, in Anlehnung an den Ablagerungsraum der Tethys in den Alpen u im Mittelmeergebiet. Das eindringende Meer wechselte

seine Richtung in E-W Richtung bzw. umgekehrt. Später erfolgte der Transport der klastischen Sedimente in den Flußsystemen ebenfalls in wechselnder Richtung. (Vergl. Abbildung: Entwicklung des Molassebeckens oben.) Die Abfolge von **Unterer Meeresmolasse (UMM), Unterer Süßwassermolasse (USM), Oberer Meeresmolasse (OMM)** und **Oberer Süßwassermolasse OSM)** wurde von Pfarrer Probst aus Biberach in seiner oberschwäbischen Heimat durchaus richtig erkannt. Er konnte nicht erkennen, dass die Faziesräume diachron in der Zeit wechseln. Dies bedeutet: Eine Sedimentsäule zeigt immer die gleiche Abfolge: UMM; USM; OMM und OSM- aber der Zeitverlauf (d.h. das absolute Alter der Übergänge ändert sich). Wir haben ein typisches Beisiel für die Faziesverschiebung im Sinne von Amanz Gressly (ein Schweizer Geologe, der den Faziesbegriff im Schweizer Jura definierte). Der Einfluß,den die vorrückende Alpenfront auf die Beschaffenheit der Sedimente hatte, wurde bereits erwähnt.
Die Molasse wird in 3, mehr oder weniger stark tektonisch beeinflußte, Bereiche gegliedert (Abb. S. 5). Der Bereich der Faltenmolasse wurde in die Gebirgsbildung mit einbezogen. Im Bereich des Allgäus sind dies gebirgsparallele, eng gefaltete und zerscherte Muldenstrukturen: Steinenberger Mulde (Hochgrat), Hornschuppe (Alpssee, Immenstadt), Salamaser Schuppe (Oberstaufen), Hauchenbergschuppe (Weitnau). Die zerscherten Muldenstrukturen (Schuppen) fallen nach S ein. Im Allgäu wird eine Ausstrichbreite von etwa 17 km erreicht. Im O der Iller wurde die Molasse in weitgespannte Mulden gelegt. Dabei ist die Sedimentabfolge in der am südlichsten gelegene Murnauer Mulde am ungestörtesten erhalten und endet im W (Iller) wie im E (Loisach) mit umlaufenden Streichen. Im N geht die Faltenmolasse an einer steilen Störung in die **aufgerichtete Molasse** (schräggestellte) über (z. Bsp bei Seltmanns im Argental, Eistobel). Nach N schliesst sich die **ungefaltete Molasse** an (Schwarzer Grat, Kürnachwald).
Als Grund für die vom Allgäu bis zum Chiemsee zu beobachtende Abnahme der tektonischen und damit morphologischen Heraushebung, sowie die Einengung der Mulden/Schuppen im W (Allgäu) wird auf die veränderten Materialeigenschaften in der Molasse zurückgeführt. Die Fazies verändert sich in W-E Richtung (s.o.). Im W finden wir mächtige zementierte Sedimentstapel von Konglomeraten und Sandsteinen, die die tektonische Schuppenbildung begünstigten. Weiter im E finden wir feinklastische, schluffreichere Sedimente, die die Bildung weitgespannten Mulden zuließen (Tektonik nach Schwerd et al).

Helvetikum

Die Deckenstapel des Helvetikums bilden die unterste Einheit im Deckenstockwerk der Alpen. Die Sedimentstapel sind von ihrer ursprünglichen Unterlage auf dem Grundgebirge abgeschert und wurden weit nach N geschoben. Dabei wurden sie in steile Falten gelegt. Sichtbar am Burgberger Hörnle, Sonthofen in einer nach S einfallenden, gekippten Falte in den Schrattenkalken. Der Ablagerungsbereich des Helvetikums lag auf dem flachen Schelfbereich der Europäischen Platte (dem Nord-Schelf der Tethys, zu Europa gehörend).
Die Gesteine vom Hohem Ifen und Grünten gehören im weiteren Sinne zum östlichen Ende der Säntis Decke im W. Das tektonische Bild ist auf Grund der sehr verschiedenen

Gesteinsarten wie Kalke, Mergel und Sandsteine, sehr unruhig und zeigt sich in disharmonischen Falten und Schuppen. Weiter im W im Bregenzerwald und am Säntis sind die Faltungen im Helvetikum gut nachvollziehbar. Nach E lassen sich die helvetischen Serien bis über den Bereich des Traunsees/Oberöstereich hinaus verfolgen; wurden dort aber auf einen schmalen Streifen zusammengepresst.
Im S des Helvetikums schließt sich der distalere Ablagerungsbereich (äußerer Schelf, Kontinentalabhang) des Helvetikums an: das Ultra-Helvetikum, es leitet zum Flysch über.

Helvetikum im Steinbruch am Burgberg/Sonthofen (Blick nach E)

Schichtfolge (nach S einfallend): Burgberger Glaukonitsandstein/Brisisandstein (obers Apt-Alb) (linker Bildrand, dunkel); Seewer Kalk (Pyrit, Inoceramen) (obers Apt-Alb) (mi.); Kondensationsschichten (Kletzenschicht (links vom Baum), Amdener Mergel (Coniac-Campan) (rechts am Bildrand);
Oben: Falte am Burgberger Hörnle in den Schrattenkalken (Barreme-Apt). E.S. 2014

Penninikum (Rhenodanubischer Flysch)

Das Penninikum kann in 3 Schichtfolgen untergliedert werden: Nordpenninikum, Mittelpenninikum und Südpenninikum. Zum Südpennikum gehört die Arosa Zone, wie wir sie bei Hindelang im Ostrachtal finden. Sie wird als eigenständige Einheit ausgegliedert (s.u.).

Gerundete Bergformen des rhenodanubischen Flysch westlich von Obermaiselstein, E.S.2014

Zum Penninikum gehören auch die Flyschsedimente, die sich in der oberen Kreide im tiefen Meeresbecken des piemontesischen Troges (Penninikums) bildeten.
Diese Sedimente wurden von B. Studer (1827) als Flysch beschrieben; es sind turbiditische Sandsteine mit wechsellagernden Mergel-und Tonsteinen. Die Definition des Flysches lautet: Abfolge von Turbiditen (Trübeströmen) alternierend mit pelagischen (Hochsee)-Ablagerungen. Die Ablagerung erfolgt entlang von Subduktionszonen. Sie wurden zyklisch geschüttet und bauen mächtige Sedimentserien auf. Im Gurnigelflysch in der Schweiz erreichen sie 1500 m Mächtigkeit. Die Wechsellagerungen werden Bouma Zyklen genannt. Die groben Sedimentanteile an der Basis werden in kurzfristigen Ereignissen (u.a. Sturmflutereignisse) sedimentiert. Nach oben hin erfolgte eine Gradierung zu immer feineren Korngrößen. Die eigentliche Zeit steckt in den sehr langsam sich absedimentierenden Tonschichten im Top eines Zyklus

Der Wechsel, zwischen kompetenten (leicht verformbaren, duktilen) und inkompetenten (bei der Faltung zerbrechenden) Schichten, bewirkt einen charakteristischen Faltenbau im Flysch. Insgesamt sind die Falten nach N einfallend (nordvergent).

Arosa Zone

In der Arosa Zone finden sich stark deformierte, oft leicht metamorph überprägte Ophiolite (untermeerische Vulkanite), verbunden mit Tiefsee-Sedimenten. Sie wurden im Jura (und in der unteren Kreide?) abgelagert und liegen oft an der Deckenstirn der Ostalpinen Decken.
Die Typlokalität dieser Sedimentabfolge liegt W von Arosa in Graubünden.
Im Allgäu findet man bei Hindelang die östlichsten, an der Oberfläche nachweisbaren Vorkommen. Weiter im E wurde die Arosa Zone von der Ostalpinen Front überfahren.
Die Arosa Zone entstand während der NW Drift der Adriatischen Kontinentalplatte, in Form eines Akkretionskeiles (vergleichbar einem Bagger, der Sand vor sich herschiebt).
In diesem Akkretionskeil findet sich eine Vielzahl verschiedenster Gesteine die vor der sich verschiebenden Platte lagen: Gesteine der Nördlichen Kalkalpen ebenso, wie Tiefsee Sedimente (vergleichbar einem ozeanischen Rücken) mit untermeerischen Basalten (Pillow Laven), Radiolariten und Calpionellenkalken. Der Zeitraum der Ausbildung des Akkretionskeiles liegt zeitlich zwischen der jüngeren Unterkreide und der älteren Oberkreide. Die Basalte müssen also älter sein und sind im Jura entstanden.
Die tektonische Durchformung der Sedimente ist je nach Duktilität mehr oder weniger intensiv. Man spricht von einer tektonischen Melange.

Ostalpin/Kalkalpin

Das Ostalpin am Widderstein im Talschluss des Kleinen Walsertales. E.S. 2014

Der oberste Deckenstapel, als höchstes Bauelement, wird von den ostalpinen Decken gebildet; sie formen die Nördlichen Kalkalpen. Diese entstanden in der Unterkreide, als Folge, des Zusammenstoßes des ostalpinen Mikrokontinents (Adria-Platte) mit dem Tiza Kontinent.
Zu den Ostalpinen Decken gehört, im Gesamten gesehen, eine Gesteinsabfolge, die an der Basis kristallines Grundgebirge und permische Sedimente (Verrucano) und Vulkanite enthält. Darauf folgen marinen Trias-Kalke und Dolomite. Während de Jura wurden überwiegend tiefer marine Kalke und Mergel abgelagert (Allgäu Schichten, Fleckenmergel). Im Jura gab es auch Hochzonen, auf denen Schwellenkalke zu Ablagerung kamen (Adneter und Ruhpoldinger Marmore des unteren und oberen Jura. Im oberen Jura und der unteren Kreide bildeten sich tiefer marine Radiolarite und Aptychenschichten.. Die tiefer marine Sedimentation setzte sich in der unteren Kreide fort (Tannheimer Schichten im Apt und Alb). Weiter im E ist eine vollständigere Schichtfolge der Kreidesedimente abgelagert worden.
Nach einer moderneren Erklärung wurden die Sedimente des Ostalpins bei der Gebirgsbildung durch die Kollision mit dem Tiza Kontinent im SE von ihrem tieferen Manteluntergrund abgerissen und sind in Teildecken zerbrochen (H. Weissert, I. Stössel, Der Ozean im Gebirge, S. 51). Man kann das Ostalpin in ein Unter- und Oberostalpin aufteilen.
Die Gesteinsserien sind in der *Allgäu Decke* intensiv verfaltet und verschuppt, während die *Lechtal Decke* in weiträumige Faltenstrukturen gelegt wurde. Beide Decken werden als *Bajuvarikum* zusammengefasst. Die Mächtigkeitsunterschiede und deren unterschiedliche Kompatibilität (Hauptdolomit reagiert spröde und bricht, Wettersteinkalk ist formbarer) bewirken den Unterschied in den Faltenstrukturen. Die S-N gerichtete Kompression bewirkte im Tertiär vor allem weiter östlich (Ammer-Loisachstörungen) ein System von dextralen NW-SE streichenden und sinistralen NE-SW streichenden Scherbruchflächen (Tektonik nach Schwerd et al).

Literatur (pars)

Bögel H., Schmidt K.: Kleine Geologie der Ostalpen, Ott Verlag, Thun; 1976

Pfiffner O. A.; Geologie der Alpen Haupt UTB, Bern, Stuttgart, Wien, 2009

Marthaler M. : Das Matterhorn aus Afrika, Ott Verlag, Bern, 2013

Müller F., Scholz U: Ehe den die Berge wurden; Verlag für Heimatpflege, Kempten, 1965

Schuster, R. Et al: Rocky Austria, Geologie von Östereich -kurz und bunt, Geologische Bundesanstalt, Wien , 2013

Schwerd K., Doben K., Teipel U.: Erläuterungen zur geolog. Karte Bayerns, Alpen, e-paper, Geolog. Landesamt, München (abgerufen am 4.07.2021)

Weissert, h u. Stössel, I; Der Ozean im Gebirge; vdf Hochschulverlag AG der ETH Zürich, 2009