

# 1. Alpen

KLAUS SCHWERD, KLAUS DOBEN, ULRICH TEIPEL

## a. Überblick

An tektonischen Großbaueinheiten der Alpen treten in Bayern vom tektonisch Liegenden zum Hangenden von N nach S **Faltenmolasse** mit Aufgerichteter Molasse, **Helvetikum**, **Ultrahelvetikum**, **Feuerstätter Flysch**, **Rhenodanubischer Flysch**, **Arosa-Zone** und **Nördliche Kalkalpen** auf.

Die Decken- und Schuppenkörper sind im Allgemeinen durch scharfe, meist schräg durch die Schichtenreihen schneidende Überschiebungsflächen voneinander getrennt. Der Verlauf dieser Bewegungsbahnen wurde dabei häufig durch Fazieswechsel oder bereits angelegte Brüche gesteuert. Die im Vergleich zu ihrer Ausdehnung meist nur sehr geringmächtigen, in sich häufig intensiv gefalteten und zerbrochenen, aber teilweise über mehrere hundert Kilometer transportierten Deckenkörper ändern im Streichen wie quer dazu häufig rasch ihren Zuschnitt, den internen Deformationsstil, den Metamorphosegrad, die Überschiebungsweiten sowie vertikal wie horizontal den Schichtenumfang. Dabei tritt in nahezu allen Großbaueinheiten eine syngenetische Deformationsaufteilung in Falten- und Überschiebungsstrukturen sowie steil stehende Seitenverschiebungen auf. Während ihrer Anlage wurden die Decken und Schuppen von einer Fülle von Längs-, Diagonal- und Querstörungen durchsetzt. Die **Längstörungen** sind meist als deckeninterne Auf- und Überschiebungen, Seitenverschiebungen oder auch Abschiebungen entwickelt. An **Diagonal-** und **Querstörungssystemen** (laterale Rampen, Blattverschiebungen) ändert sich die Geometrie von Falten und Überschiebungen oft sprunghaft im Streichen, wodurch der Betrag der Gesamteinengung zwischen im einzelnen oft unterschiedlich deformierten Segmenten innerhalb eines Überschiebungsgürtels erhalten bleibt (Transferstörungen) und sich Versatzbeträge bis zu mehreren Kilometern addieren können. Ein weiteres Störungssystem bilden Blattverschiebungsgürtel (z.B. **Innsbruck-Salzburg-Amstetten-Störung**, **Salzach-Ennstal-Störung**, **Königsee-Traunsee-Störung**) samt dazugehörigen Einengungs- und Dehnungsstrukturen, die bei durch oligozän-miozäne N-S-Kompression ausgelöstem, ostgerichtetem Ausweichen des zentralen Ostalpenblockes angelegt wurden.

## b. Faltenmolasse und Aufgerichtete Molasse

Im Alttertiär hatte sich das Ozeanbecken der Tethys, das zuvor zwischen der Adriatisch-Afrikanischen und der Europäischen Kontinentalplatte lag, durch tektonische Bewegungen geschlossen. Die von Süden heranrückenden alpinen Decken schoben sich nun über den Südrand der europäischen Kontinentalplatte, die durch die Auflast einzusinken begann. Im Laufe des Obereozäns bis ins Miozän entstand ein Trog – das nordalpine Molassebecken -, der vom Rand der nach Norden fortschreitenden Deckenüberschiebungen (Orogenfront) bis über die heutige Donau nach Norden reichte.

Im Süden des Molassebeckens, wo sich der Trog laufend einsenkte, wurde eine mehrere tausend Meter mächtige Sedimentabfolge abgelagert. Gleichzeitig waren die tektonischen Bewegungen noch nicht zum Stillstand gekommen: die alpinen Decken rückten weiter nach Norden vor, wodurch Ablagerungen am Südrand des Molassebeckens als **Faltenmolasse** in den Deckenbau der Alpen mit einbezogen wurden.

Zur nördlich anschließenden, von der alpidischen Einengung kaum mehr betroffenen ungefalteten **Vorlandmolasse** vermittelt über weite Bereiche deren durch interne Verkeilung mächtiger Schichtpakete (Duplexstrukturen) tektonisch noch aufgebogener, südlichster Randstreifen, die **Aufgerichtete Molasse**. Von dieser „Aufbiegung“ nicht betroffene, ältere Schichtfolgen der Vorlandmolasse ziehen dagegen, als **Überfahrene Molasse** bezeichnet, nach S weit unter die Faltenmolasse und die höheren alpidischen Decken hinein.

Die **Faltenmolasse** wird aus einigen gebirgsparallel streichenden Mulden, vor allem aber aus einer Vielzahl nach S einfallender tektonischer Schuppen aufgebaut. Sie erreicht im Allgäu bis etwa 17 km Breite, verschmälert sich ab etwa Weilheim zunehmend nach E und endet südöstlich des Chiemsees. Die Mulden sind durch interne Faltung sowie streichende Aufschiebungen und Verschüppungen vielfach verkompliziert. Während im Oberallgäu insgesamt eher eine südfallende, dachziegelartige Übereinanderstapelung von Großschuppen vorherrscht und nur die südlichste Struktur als Großmulde ausgebildet ist, entwickelt sich nach E zumindest oberflächennah ein Nebeneinander von bereichsweise tektonisch gestörten Mulden und Schuppen. Besonders eindrucksvoll zeigt sich die im Streichen etwa 80 km lange, beiderseits mit umlaufendem Streichen endende, südlichste Molassemulde, die **Murnauer Mulde** zwischen Iller und Loisach.

Die Mulden und Schuppen werden von an der Oberfläche meist steil nach S einfallenden, sich in die Tiefe bis subparallel zur Schichtung flachlegenden Abscherflächen begrenzt. Die Strukturen der Faltenmolasse wurden im Laufe des Miozäns schrittweise von S nach N syndimentär zur Molassesedimentation angelegt.

Nach N grenzt die Faltenmolasse übertage mit steiler Störung über weite Bereiche gegen die **Aufgerichtete Molasse**. Vom Allgäu bis etwa zum Loisachtal und dann wieder etwa ab dem Inn nach Osten lässt sich im Untergrund eine durch internen Duplexbau gekennzeichnete Dreiecksstruktur nachweisen: Das keilförmige Einspießen dieser im Untergrund die tektonische Nordfront der Faltenmolasse markierenden Struktur in die vor ihr gelegene Molasseabfolge hob deren südlichsten, jüngeren Schichtenstapel von seinem Untergrund ab und bog ihn zur Aufgerichteten Molasse auf.

Ein wesentlicher Grund der in der Faltenmolasse vom Allgäu zum Chiemsee beobachtbaren Abnahme von tektonischer und morphologischer Heraushebung, von Einengung sowie Mulden- und Schuppenhäufigkeit sind

vermutlich die sich aufgrund der Faziesentwicklung von W nach E verändernden Materialeigenschaften der beteiligten Schichten: während im W mächtige, hart zementierte Konglomerat- und Sandsteinserien zur Anlage großdimensionierter tektonischer Schuppen und einzelner weitspanniger, tiefer Mulden führten, bedingten nach E zunehmend feinerklastische, ton- und schluffreichere Gesteinsschichten einen flacheren und schmaleren Mulden- und Schuppenbau. Östlich des Chiemsees ist schließlich nahezu die gesamte vormittelmiozäne Molasseschichtfolge ton- und schluffreich entwickelt; anstelle der Aufschüfung einer Faltenmolasse vor seiner Front glitt hier der orogene Deckenstapel der Alpen im Oligozän und Miozän eher über die Molassesedimente hinweg.

### c. Helvetikum

Das **Helvetikum** zieht landschaftsprägend in breiter Front aus der Schweiz kommend vom Allgäu bis zur Iller, setzt sich von hier nach E aber nur noch in einem schmalen, morphologisch kaum noch auffälligen Streifen bis nördlich des Traunsees nach Oberösterreich fort.

Im Oberallgäu zeigt das Helvetikum übertage einen deutlich nordvergenten, durch unterschiedliches Deformationsverhalten der verschiedenen Gesteinsserien meist disharmonischen Falten- und Schuppenbau. Die Geometrie der Falten ändert sich im Streichen meist fließend, über mit der Faltung angelegte Seitenverschiebungen (Transferstörungen) hinweg aber auch abrupt (z.B. Störungszone nördlich von Au im Bregenzer Wald). Dabei können aus weitspannigen, aufrechten Falten enger gepresste, nordvergent überkippte und schließlich liegende Falten mit teils größeren Überschiebungen des Hangendschenkels hervorgehen. Stellenweise, z.B. am Grünten nordöstlich von Sonthofen, sind zudem südvergente Faltenstrukturen zu beobachten. Der helvetische Faltenürtel zeigt vom Rhein zur Iller einen insgesamt bogenförmigen Verlauf von im W etwa NE-Streichen über E-Streichen im mittleren Bereich zu einem von SE bis NE divergierenden Faltenfächer entlang von Breitach und Iller.

Das Helvetikum zwischen Grünten und Traunsee weist einen fast durchweg eng gepressten, kleinräumigen, steilstehend nordvergenten Falten- und Schuppenbau auf. Die meist rasch auf- und abtauchenden und sich ablösenden Falten sind bereichsweise in dichtem Abstand von Seitenverschiebungen durchsetzt. Vom östlicheren Oberbayern bis nördlich des Traunsees sind helvetische Gesteinsserien zudem tektonisch teils intensiv mit Einheiten des Ultrahelvetikums (v. a. Buntmergelserie) vermischt.

### d. Ultrahelvetikum und Feuerstätter Flysch

Gesteine von Ultrahelvetikum und Feuerstätter Flysch kommen in einem schmalen Streifen im Allgäu und in Oberbayern vor. Sie wurden bei ihrer Überschiebung auf das Helvetikum unter dem nordwärts drängenden Orogenkeil aus Nördlichen Kalkalpen, Arosa-Zone und Rhenodanubischem Flysch oft verschuppt und bis zur völligen Auflösung stratigraphischer Verbände zerrissen. Sie bilden über weite Strecken tektonische Mélange-Zonen, in die häufig auch Gesteine des liegenden Helvetikums und des hangenden Rhenodanubischen Flyschs miteinbezogen sind. Zusammenhängende Schichtfolgen treten nur lokal auf. Östlich der bayerischen Traun streicht v.a. das Ultrahelvetikum (Buntmergelserie) in einer Reihe schmaler tektonischer Fenster innerhalb des Rhenodanubischen Flyschs aus.

Nur im Allgäu tritt der **Feuerstätter Flysch** im engen Sinne auf. Er ist stratigraphisch wohl nur wenige 100 m mächtig, wurde jedoch an manchen Stellen tektonisch zu erheblich größeren Mächtigkeiten gestapelt. In Oberbayern treten in analoger tektonischer Position stellenweise dem Feuerstätter Flysch ähnliche Gesteinsfolgen auf.

Das tektonisch darunter folgende, überwiegend nur in Form kleinerer und größerer Scherkörper vorliegende **Ultrahelvetikum** dokumentiert einen Ablagerungsraum, der den Übergang vom tiefmeerischen Entstehungsbereich von Rhenodanubischem und Feuerstätter Flysch zum nördlich folgenden Sedimentationsraum des Helvetikums auf dem Europäischen Kontinentalschelf bildet.

### e. Rhenodanubischer Flysch

Der Rhenodanubische Flysch weist einen im Wesentlichen nordvergenten Bau von vorwiegend geneigten bis überkippten, mehrheitlich engeren bis isoklinalen Biegescherfalten auf. Der Wechsel zwischen pelitäreren, kompetenten und pelitreicheren, inkompetenten Schichtfolgen führte zu einem im einzelnen disharmonischen Stockwerksbau oft rasch wechselnder Verformungsgeometrie mit unterschiedlichsten Falteneinengungsgraden und teils intensiven Verschuppungen. Als besonders zu Spezialfaltung neigende Formationen erweisen sich dabei vor allem die Ofterschwang-, Piesenkopf- und Kalkgraben-Formation. Die dickbankigen Anteile der Reiselberg-Formation sowie der Hällritz- und Altlenzbach-Formation zeigen dagegen eher weiterspannige, offenere Faltenstrukturen.

Die Geometrie von Falten ändert sich im Streichen meist fließend, über mit der Faltung angelegte, unterschiedliche Verschiebungsbeträge innerhalb der Teildecken im Streichen kompensierende

Seitenverschiebungen hinweg aber auch abrupt. Im Bereich solcher Transferstörungen führte transpressive Deformation vielfach zur Anlage von aus dem im großen in etwa gebirgsparallelen Generalstreichen herausrotierten, oft steilachsigen Falten (Beispiel Illertal). Neben der überwiegenden Nordvergenz tritt im Rhenodanubischen Flysch bereichsweise auch Südvergenz mit lokalen Rücküberschiebungen auf. Sie ist Folge späterer, nach der Hauptfaltung und Deckenbildung des Rhenodanubischen Flyschs während der deckentektonischen Anlage von Helvetikum und Faltenmolasse entstandener Einengung.

## f. Arosa-Zone

Im Oberallgäu findet man tektonisch unter den Nördlichen Kalkalpen eine sehr heterogene, tektonische Mischzone – die meist nur wenige Meter bis Zehnermeter mächtige **Arosa-Zone**. Sie führt als Grundmasse vor allem kreidezeitliche, teils extrem durchbewegte, teils turbiditische Mergel- und Sandsteine. In dieser Grundmasse findet man unterschiedlichste Gesteine: ortsfremde Kalksteine, Schollen aus dem kristallinen Grundgebirge, Basalte jurazeitlicher Ozeankruste mit auflagernden Radiolariten und Calpionellenkalken, Gesteine der Nördlichen Kalkalpen sowie weitere Komponenten.

Beim Vorrücken der Adriatisch-Afrikanischen Kontinentalplatte entstand diese tektonische Mischzone (tektonische Mélange) im Bereich eines plattentektonischen Akkretionskeiles in der Zeit von der jüngeren Unterkreide zur älteren Oberkreide an der aktiven Front der Adriatischen Platte. Diese drängte durch Vorgänge im Erdmantel nach Norden in Richtung auf die Europäische Platte und schob sich an einer Subduktionszone über diese.

Die Verformung verteilt sich in bruchhaft-spröde Beanspruchung der kompetenten Blöcke und penetrativ duktile Deformation der inkompetenten Grundmasse. Neben intensiver Deformation in Scher- und Überschiebungszonen finden sich auch geschonte Matrixbereiche. Übertage endet die Arosa-Zone von Westen kommend bei Hindelang durch die vollständige Überdeckung durch tektonische Decken der Nördlichen Kalkalpen.

## g. Nördliche Kalkalpen

Am Nordrand der Kalkalpen liegen als unterste tektonische Baueinheiten die Kalkalpine Randschuppe sowie die Allgäu-Decke mit intensiv verfalteten und verschuppten Gesteinseinheiten. Vom Allgäu bis in den Chiemgau schließt sich südlich daran die Lechtal-Decke an, die durch weiträumige Faltenstrukturen geprägt ist. Die Allgäu-Decke unterlagernde Kalkalpine Randschuppe, Allgäu- und Lechtal-Decke werden zusammenfassend auch als Bajuvarikum bezeichnet. Westlich des Inns wird die Lechtal-Decke von der Inntal-Decke überlagert. Dieser Deckenbau entstand hauptsächlich von der jüngsten Unterkreide bis in die ältere Oberkreide, ableitbar aus Schichtlücken, Winkeldiskordanzen, aus der Verteilung, Zusammensetzung und dem Alter syntektonischer klastischer Sedimente sowie der über den entstandenen Deckenbau transgredierten Gosasedimente. Vorwiegend durch Fazies- und Mächtigkeitsunterschiede der triassischen Gesteine bedingt ist der unterschiedliche Baustil zwischen der eng gefalteten und geschuppten **Allgäu-Decke**, inklusive der Deckenausmaße besitzenden **Kalkalpinen Randschuppe** und den breit gefalteten höheren Decken. Die **Lechtal-Decke** weist, von N nach S eine Reihe markanter Faltelemente auf, darunter den **Großen Muldenzug**, das **Synklinorium** als Doppelmulde mit Rhät, Jura und Kreide im Kern, die **Wamberger Sattelzone** mit einem Kern aus Muschelkalk sowie die **Karwendel-Mulde** mit Jura- und Kreidegesteinen im Kern, die bei Achenkirch mittels einer tektonisch komplizierten Struktur in die parallel verlaufende **Thiersee-Mulde** umschwenkt. Der Hauptkörper der **Inntal-Decke** mit seiner relativ großräumigen Gliederung in Sättel und Mulden ist komplex aufgebaut. Erosiv abgetrennt, finden sich im W und E einige isolierte Schollen dieser Decke. Zwischen Lechtal- und Inntal-Decke befindet sich eine Zone ausgeprägter Schuppung, in ihrem Ostteil als **Karwendel-Schuppenzone** bezeichnet. Sie besteht aus einer Mischung von Gesteinen beider Decken.

Östlich des Inns ändert sich der tektonische Aufbau der Nördlichen Kalkalpen. Über der Allgäu- und Lechtal-Decke liegt eine als Tirolikum bezeichnete Deckeneinheit. Sie baut auf bayerischem Gebiet überwiegend die großen Kalksteinmassive des Reichenhaller und Berchtesgadener Raumes auf. Die Inntal-Decke westlich des Inns kann tektonisch formal als westliche Fortsetzung dieses Tirolikums betrachtet werden. Östlich des Inns werden Allgäu- und Lechtal-Decke nach E zunehmend tektonisch unterdrückt, so dass die tirolische Deckengruppe nördlich von Reichenhall nach N bis an den Rhenodanubischen Flysch heranreicht. Intern ist das Tirolikum an Überschiebungen, Seitenverschiebungen und Abschiebungen in Teildecken (Tief- und Hochtirolikum) und Schollen gegliedert. Eine Besonderheit stellt die zum Hochtirolikum gehörende Berchtesgadener Einheit, der Gebirgsblock aus Untersberg, Lattengebirge und Reiteralm (ehemals „Hochjuvavikum“), dar. Die Berchtesgadener Einheit ist als „Pop-up-Struktur“ zumindest randlich nach N wie S über ehemals benachbarte Einheiten überschoben und im W durch die Saalach-Scherzone, im E durch die Salzachstörungszone begrenzt. Die früher als „Hallstätter Decke“ („Tiefjuvavikum“) interpretierten Gesteinsserien stellen nach gegenwärtigem, teils kontrovers diskutiertem Kenntnisstand bis zu Kilometer-große Gesteinskomponenten (Olistholithe, Olisthostrome) dar, die aufgrund tektonischer Bewegungen an der Stirn von Deckenüberschiebungen während des Jura in Tiefseesedimente des Tirolikums einglitten (Resedimentation).

Zusätzlich zur Deckentektonik stellt die Bruchtektonik in den Nördlichen Kalkalpen einen wesentlichen strukturbildenden Faktor dar. Störungen, Klüfte sowie die Lineationen in Luft- und Satellitenbildern zeigen eine oft symmetrische Anordnung. Etwa S–N-gerichtete Kompression erzeugte im Laufe des Tertiärs vor allem ein

System von dextralen NW–SE-streichenden und sinistralen NE–SW-streichenden Scherbruchflächen (**Ammer-** und **Loisach-Störungen**), die zu einer Zerdehnung der Nördlichen Kalkalpen wie ihnen vorgelagerter Deckeneinheiten bereichsweise hinaus bis in die Faltenmolasse führten. Dabei überwiegen die sinistralen Seitenverschiebungen.