





2.1 Glazialmorphologie am Alpennordrand

Ziel ist die erklärende Beschreibung der für den bayerischen Alpenrand typischen naturräumlichen Abfolge "Kalkhochalpen – Voralpen – Moränenlandschaft – Schotterebene". Am Beispiel des Isar-Loisach-Gletschers erfolgt ein Überblick zu den würmeiszeitlichen Formen und Ablagerungen. Veranschaulicht werden aber auch tektonische Vorgänge am Alpennordrand.

2.1.1 Sachinformationen

a. Das Satellitenbild und seine Aufbereitung

Lokalisierung und Topographie: Das Bild (**Folie F 6**) erfasst einen raumtypischen Ausschnitt (85 km x 50 km) des bayerischen Alpenrandes zwischen München und Garmisch-Partenkirchen. Wichtige Orientierungsmarken sind das S-N verlaufende Loisachtal, der Stadtrand Münchens in der Nordost-ecke und die größeren Seen: Walchensee und Kochelsee, Staffelsee, Starnbergersee und Ammersee. Westlich wird das Bild vom Lechtal, östlich vom Isartal begrenzt. Sein Südrand liegt bei Garmisch-Partenkirchen nördlich des Zugspitzmassivs und erfasst damit noch kalkalpine Hochgebirgszüge (Karwendelmassiv, Kocheler Berge).

Bildentstehung: Es handelt sich um einen vom Institut für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München bearbeiteten Bildausschnitt einer LANDSAT-Satellitenaufnahme vom 8. August 1995.

An Bord von LANDSAT befindet sich der Sensor „Thematic Mapper“ (TM) mit folgenden Aufnahmeeigenschaften: Flächenabdeckung des Gesamtbildes 185 km x 185 km, Bildauflösung 28,5 m x 28,5 m je Bildelement (Pixel), Datensätze in 7 Spektralbereichen.

Das folgende Falschfarbenkomposit wurde aus den Kanälen 5 (Mittleres Infrarot), 4 (Nahes Infrarot) und 3 (Rot) zusammengestellt und in den Farben Grün, Rot und Blau wiedergegeben: RGB = K5 (MIR), K4 (NIR), K3 (Rot). Hinsichtlich der Vegetation entsteht somit ein naturnaher Eindruck in Grüntönen.

Deutlich tritt das Relief der Gebirgszüge hervor. Dies folgt aus dem Licht-Schatten-Effekt zum morgendlichen LANDSAT-Aufnahmezeitpunkt um 9.30 Uhr: Bei Nadelwäldern, die morgens im Schatten von Bergmassiven liegen, ergibt sich ein dunkler Grünton, auf der Sonnenseite entsteht in Süd- bis Südostexposition bei gleichem Baumbestand eine hellere Grüntönung. Ähnliche Licht-Schatten-Effekte gibt es auch bei der Gesteinsreflexion. Trotz der Senkrechtaufnahme aus 705 km Höhe vermitteln diese Schummerungseffekte einen dreidimensionalen Eindruck des Reliefs.

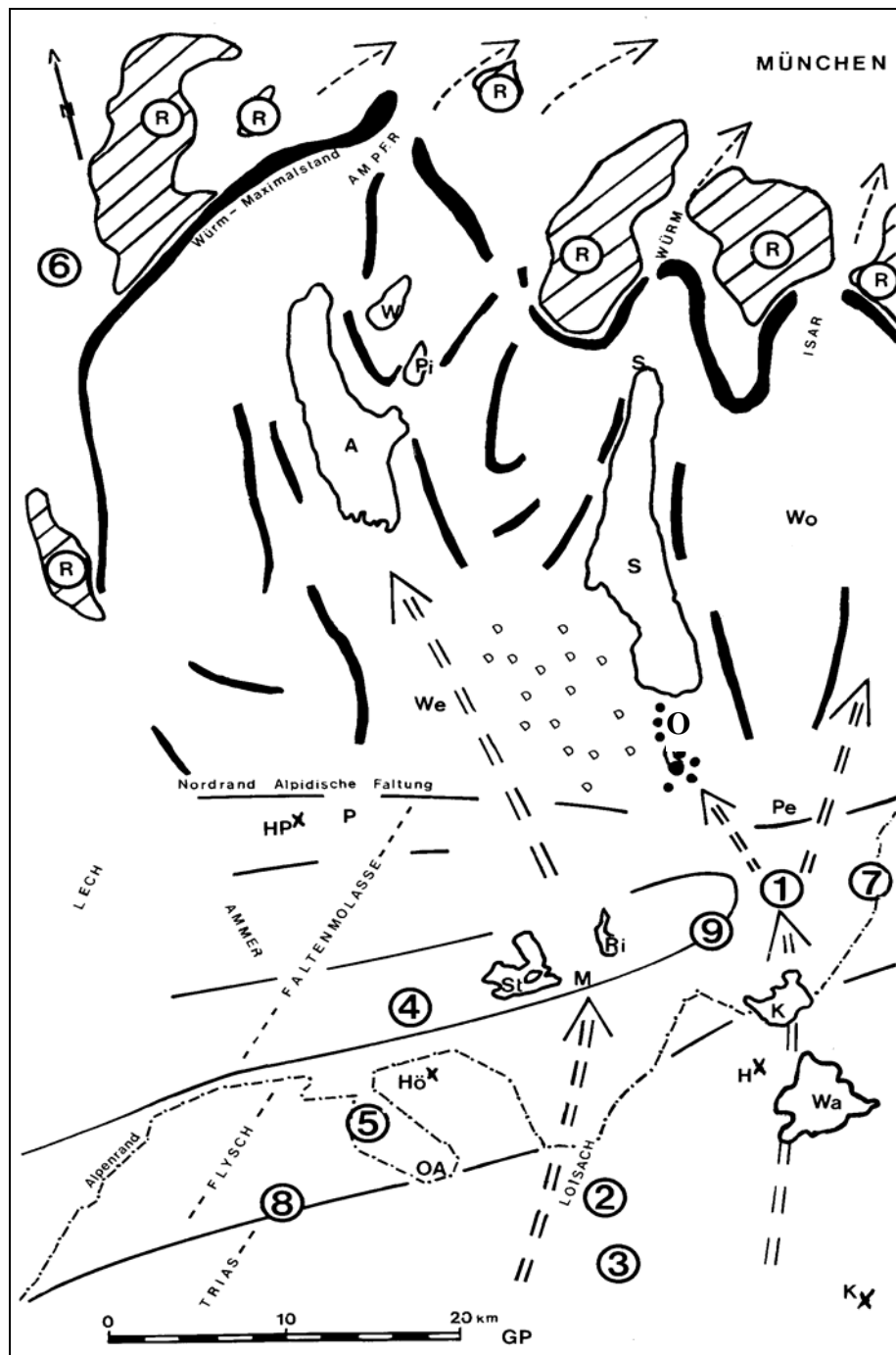
Interpretation von Flächenfarben und linearen Strukturen des Satellitenbildes:

- **Grüntöne:** Nr. 1 der Skizze Hochmoore nahe Kochelsee, Murnau, Staffelsee und Ostersee; Nr. 2 Nadelwälder (schattenseitig); Nr. 3 Nadelwälder (von der Sonne beschienen); Nr. 4 Mischwälder; Nr. 5 Grünlandwirtschaft, Nr. 6 Ackerbau (parzellierte Felder);
- **Rottöne:** Felsregion der Hochgebirgsketten (Reflexion des Jurakalks); Siedlungen sowie erntereife Felder;
- **lineare Strukturen:** Nr. 7 Alpenrand (morphologische Grenze); Nr. 8 Stirnfront einer kalkalpinen Überschiebungsdecke (tektonische Grenze); Nr. 9 waldbedeckte Härtlingsrücken der tertiären Faltenmolasse (tektonische Linien).

Hinweis: Der Beitrag „Satellitenbilder im Internet“ auf der **CD-ROM** enthält Farbbabbildungen aus dem Untersuchungsgebiet (Lokalisierung innerhalb des Satellitenbildes).

Interpretationsskizze: "Gebirge und Gletscherspuren in der Isar-Loisach-Region"

- **Berge:** K = Westl. Karwendelspitze (2384 m), H = Herzogstand (1731 m), Hö = Hörnle (1548 m), HP = Hoher Peißenberg (988 m)
- **Seen:** A = Ammersee (533 m), S = Starnberger See (548 m), W = Wörthsee (561 m), Pi = Pilsensee (534 m), O = Osterseen (590 m), St = Staffelsee (649 m), Ri = Riegsee (656 m), K = Kochelsee (600 m), W = Walchensee (802 m)
- **Städte:** S = Starnberg, W = Weilheim, Wo = Wolfratshausen, Pe = Penzberg, P = Peißenberg, M = Murnau, OA = Oberammergau, GP = Garmisch-Partenkirchen
- **geologische Einträge:** schraffierte Flächen ("R") = risszeitliche Moränenreste (Altmoräne) mit Waldbedeckung, dicke Linien = Endmoränen der Würmeiszeit (Maximum und Rückzugsstadien), dünne Linien = tektonische Linien (Verwerfung, Faltung), Doppelpfeile = Stoßrichtung eiszeitlicher Gletscherströme, einfache Pfeile = Schmelzwasserströme in die Schotterebene, D = Drumlins





b. Interpretation des LANDSAT TM – Satellitenbildes

Naturräumliche Grobgliederung:

- **Oberbayerische Voralpen** (Gipfelhöhen von 1200 bis über 2000 m): Im Satellitenbild lassen sich der Alpenrandbereich (bewaldete Berge) und die Kalkvoralpen (mit Kalkfelsen in der Gipfelzone) unterscheiden. Der **Alpenrand** mit dem Ammergebirge (zwischen den Linien Nr. 7 und 8 der Skizze) besteht aus kreidezeitlichen Mergeln (Flysch). Er ist im Bereich von glazial geprägten Tal- austritten (Oberammergau, Loisachtal, Kochelsee) um bis zu 10 km alpenwärts zurückversetzt. Bewaldete Höhen und gerundete Bergformen prägen das Bild. Die **Kalkvoralpen** schließen südlich an die Flysch-Zone an. Auf den Berggipfeln ragt stark reflektierender Kalkfels (sog. Ostalpine Decke, hier: Gesteine des Jura) hervor. Diese Gebirgsketten südlich der Linie Oberammergau - Kochelsee mit dem Herzogstand oder der Karwendelspitze verdanken ihre Emporwölbung (alpidische Faltung) einer kreidezeitlichen Überschiebungsdecke. Die Stirnfront dieser kalkalpinen Überschiebungsdecke (siehe Nr. 8 der Skizze) lässt sich im Satellitenbild als Alpenlängstal nachvollziehen. Auch das Alpenlängstal am südlichen Bildrand ist tektonisch angelegt.
- **Voralpines Hügel- und Moorland** (ca. 600 - 988 m ü. NN): Es schließt als flachwelliges Hügel- land direkt nördlich an den Alpenrand an und reicht bis zur Linie Peißenberg - Penzberg. Es besteht im Untergrund aus tertiären Ablagerungen (Kies, Sand, Tone mit einigen Kohleschichten des tertiären Süßwassermolassebeckens). Wie das Querprofil **M 41 (Arbeitsblatt A 19)** zeigt, wurde es als nördliche Vortiefe der Alpen gerade noch in die Gebirgsbildung mit einbezogen. Schub aus südlicher Richtung faltete den Raum in drei W-O verlaufende Mulden. Langgezogene Härtings- rücken (Nr. 4 der Skizze), die im Satellitenbild wegen ihrer Bewaldung gut erkennbar sind, mar- kieren die Grenzen der Mulden. Man spricht von Faltenmolasse. Der Hohe Peißenberg, als höchster Molasseberg, markiert den eigentlichen Nordrand alpidischer Faltungsvorgänge (= tektonischer Alpennordrand). Raumprägend sind aber auch die glazialen Spuren des Isar-Loisach-Gletschers: Zungenbeckenseen und vermoorte Becken, die nacheiszeitlich teils verlandet sind, inmitten einer flachwelligen Moränenlandschaft. Infolge der jungen Böden überwiegt Grünlandwirtschaft.
- **Ammersee - Starnberger See - Hügelland** (ca. 570 - 750 m ü. NN): Diese Hügellandschaft zwi- schen Faltenmolasse und Schotterebene mit großen Zungenbeckenseen ist das Ergebnis der ins Alpenvorland hinaus fließenden Eisströme. Die heute sichtbaren Formen und Ablagerungen ent- stammen den letzten beiden Eiszeiten (Riß, Würm). Die Schotterablagerungen am Eisrand (Alt- moränen siehe Signatur "R", Jungmoränen des Würm-Maximums) begrenzen die durch den ehe- maligen Isar-Loisach-Gletscher geprägte naturräumliche Einheit im Norden. Moränenwälle sind teilweise bewaldet (Mischwald), ansonsten herrscht Grünlandwirtschaft vor.
- **Münchener Schotterebene** (ca. 570 - 500 m ü. NN): Teil der voralpinen Schotterplatten (Nord- ostecke des Bildes) als Folge der eiszeitlichen Schmelzwasserströme von Amper (Ammersee, Ammer), Würm (Starnberger See, Loisach) und Isar mit Fichtenwäldern, Ackerland und Wiesen- mooren.

Den engen Zusammenhang von Naturraum und Geologie zeigt auch das folgende Blockbild **M 40** (siehe **Arbeitsblatt C 2.1/ A 18**).

Glazialmorphologie: Rekonstruktion der Vergletscherung im Gebirge: Im Satellitenbild lässt sich die Grenzlinie zwischen Fels und geglätteten Berghängen im Hochgebirge gut ziehen. Sie kann als grobes Maß für die Rekonstruktion der würmglazialen Gletscheroberfläche dienen: Bizarre Felsgrate über ge- rundeten Bergflanken (Herzogstand und Bergkette westlich Garmisch-Partenkirchen) sind hervorge- gangen aus pleistozän eisfreien Bergspitzen (Nunatak) über dem Eisstromnetz aus Talgletschern. Sie lassen eine würmglaziale Gletscheroberfläche des Isar-Loisach-Gletschers rekonstruieren, die im Loi- sachtal von Garmisch-Partenkirchen bis zum Alpenrand von 1600 m ü. NN auf 1200 m ü. NN ab- nimmt. Bergflanken und Talhänge unter den genannten Werten sind durch glaziale Erosion auffällig geglättet.

Einen guten Überblick bietet das Blockbild des Isar-Loisach-Gletschers (**C 2.1/ A 19/ M 40**). Danach nahm die Mächtigkeit des Gletscherkörpers von 1000 m bei Garmisch-Partenkirchen über den Alpen- rand (600 m) zu den Zungenbecken auf 400 Meter Höhe ab.

- Gletscherströme und Trogtäler:** Die Interpretationsskizze zeigt, dass der große Eiskuchen im Alpenvorland im Wesentlichen von zwei Eisströmen gespeist wurde. Der eine folgte dem Loisachtal, das er zu einem Trogtal umformte, der andere verlief im Abstand von 15 km parallel dazu entlang der Achse Mittenwald-Walchensee-Kochelsee und schuf damit große Becken, die spät-eiszeitlich nicht mehr verfüllt wurden. Da die gigantischen Eismassen sich nicht aus einer Lokalvergletscherung des Alpennordrandes erklären lassen und die Moränen reichlich zentralalpine Gesteine mit sich führen, muss von einem Eisstromnetz ausgegangen werden. Zentralalpine Eismassen des Inntalgletschers flossen über den Fernpass und über Mittenwald-Scharnitz (Transfluenz-Pässe) beiderseits am Wettersteingebirge (Zugspitze) vorbei und nährten den Isar-Loisach-Gletscher. Spuren glazialer Erosion sind die typische U-Form und die Trogschulterfläche in manchen Talabschnitten. Je nach Härte des Gesteins wurde auch der Untergrund verschieden tief ausgeschürft, im Loisachtal nördlich Garmisch-Partenkirchen bis zu 400 m. Dass hier dennoch heute eine breite Talebene zu finden ist, ist auf rißzeitliche Seetone und würmglaziale Grundmoränen zurückzuführen.

Die weichen Flyschmergel des Murnauer Beckens wurden durch den Loisachgletscher 200 m tief ausgeräumt und später durch Seetone verfüllt. Sie bilden den stauenden Untergrund des Murnauer Moors. Vergleichbar ist die Situation unter den Hochmooren nördlich des Kochelsees.
- Gletscherzungen des Isar-Loisach-Gletschers im Alpenvorland:** Mit dem Auseinanderfließen der Gletscherströme zu Gletscherkuchen und der abnehmenden Eismächtigkeit außerhalb der Alpentore ließ die ausschürfende Wirkung der anschließenden Gletscherzungen nach. Nur noch in der Hauptstromrichtung des Eisvorstoßes (siehe Interpretationsskizze) wurden langgezogene Zungenbecken (Ammersee, Starnberger See, Wolfratshausener Becken) aus weichen, tonig-sandigen Molasseschichten herausgearbeitet (**C 2.1/ A 19/ M 40 und M 41**). Härtlingsrücken der Faltenmolasse vermochten aber die Gletscherzungen zu lenken und im Falle des Tischberges (nördlich Penzberg) sogar zu teilen. Der Isar-Loisach-Gletscher teilte sich also auf in Ammersee-Gletscherzunge (Ammersee-Zungenbecken), Würmsee-Gletscherzunge (Starnberger See) und Wolfratshausener Gletscherzunge (Wolfratshausener Becken).

Diese Vorlandgletscher bestanden nur in der Hochphase jeder Eiszeit. Landschaftsprägend sind heute im Satellitenbild die Endmoränenreste der Rißeiszeit (maximaler Eisvorstoß) und die Jungmoränenlandschaft der Würm-Eiszeit. Ihr Vorlandgletscher bestand 10.000 Jahre, vom Würmmaximum (ca. 25.000 vor heute) bis zum Ende des Würm-Hochglazials (vor ca. 15.000 Jahren). Die durch bewaldete Höhenzüge teils gut erkennbare Endmoränenrandlage markiert das Würmmaximum. Die Dynamik des hochglazialen Gletscherrückzugs der Isar-Loisach-Eismasse ist aus weiteren Moränenwällen ablesbar, die kurze Vorstöße bzw. längere Stillstandsphasen im ansonsten kontinuierlichen Rückzug darstellen. Aus dem Vergleich der bewaldeten Endmoränenstücke im Satellitenbild mit der Kartierung in Abbildung **M 42 (Arbeitsblatt 19)** lassen sich auch drei hochglaziale Rückzugsphasen erkennen, die bei allen Gletschern des nördlichen Alpenvorlandes wiederkehren: Das erste Rückzugsstadium umrahmt noch die großen Zungenbecken, das zweite steht bereits südlich davon, das dritte umgrenzt vermoorte Becken am Alpenrand.

Erst im Spätglazial (16.000 - 10.000 Jahre vor heute) zieht sich auch der Loisach-Gletscher in die Alpen zurück, bildet Seitenmoränen im Loisachtal aus und später eine Serie von kleinen Moränen östlich von Garmisch-Partenkirchen. Zu diesem Zeitpunkt erreicht der Isargletscher nicht mehr das Walchenseebecken. Da die Isar wieder ihren alten Talverlauf einnimmt und nicht wie der Gletscher den kleinen Pass südlich des Walchensees übersteigt, wird der **Walchensee** spätglazial nicht mehr mit Schmelzwassersedimenten verfüllt und bleibt in der ursprünglichen Beckengröße erhalten. Gleiches gilt für das Zungenbecken des **Starnberger Sees**, da die Loisach jetzt ihren Weg durch das tiefer gelegene Kochelseebecken nimmt. Das **Wolfratshausener Becken** wird jedoch von den Schmelzwässern des rückschmelzenden Gletschers und der Isar mit 150 m mächtigen Ablagerungen aufgefüllt. Gleiches gilt für das Ammerseebecken, das am Ende des Riß- und des Würm-Hochglazials mit Seetonen und Schmelzwasserschottern (Kiesdeltas) bis zur Hälfte wieder aufgeschüttet wurde. Um die Osterseen entwickelte sich spätglazial eine Eiszerfallslandschaft aus **Toteisseen**, eisrandnahen Deltaschottern und Schmelzwassersanden. Auch Wörthsee und Pilsensee sind aus Toteismassen hervorgegangen.



- **Drumlinfelder:** Zu den Sonderformen eiszeitlicher Ablagerungen zählen die Drumlins des Jungmoränengebietes. Sie bestehen aus verdichteter, schluffreicher Moräne, aus der in Eistransportrichtung stromlinienförmige Körper herausmodelliert wurden. Die länglich ovalen Rücken treten scharenweise auf. Sie zählen im 60 qkm großen Eberfinger Drumlinfeld ca. 360 Stück.
- **Münchner Schotterebene:** Die Schmelzwässer des Isar-Loisach-Gletschers flossen bevorzugt in nördlicher bis nordöstlicher Richtung ab und schütteten rißeiszeitlich eine weite zusammenhängende Schotterebene (Hochterrasse) auf. Im Gegensatz zum üblichen Taleintiefungsvorgang legten sich die jüngeren Schotter als Sander flächenhaft darüber oder trugen die älteren lößbedeckten Schotter bis auf Reste ab.

2.1.2 Das Thema im Unterricht

Die Entstehung der Alpen sowie die Spuren eiszeitlicher Gletscher in den Alpen und im Alpenvorland sind sowohl in der gymnasialen Unter- als auch in der Oberstufe beliebte physisch-geographische Themen des Geographieunterrichts. Dabei wird der Schüler an grundlegende Fragen der Geologie, Tektonik und Glazialmorphologie herangeführt. Nach dem bayerischen Lehrplan bietet sich der Einsatz des Satellitenbildes bereits im Rahmen des Themas „Alpen und Alpenvorland: Entstehung und Überformung“ in der Sekundarstufe I an. In der Oberstufe ist eine vertiefte Behandlung im Rahmen der „Geowissenschaftlichen Theoriebildung“ z. B. beim Projekt „Glazialmorphologie“ möglich. Erst recht gilt dies für den ergänzenden Kurs Geologie mit seinen Rahmenthemen zur endogenen und exogenen Morphodynamik.

Mögliche Themensequenz in einem Unterrichtsprojekt der gymnasialen Oberstufe:

- Entwurf einer naturräumlichen Gliederung,
- Satellitenbildanalyse unter glazialmorphologischen Gesichtspunkten,
- das Gebirgsrelief in seiner Bedeutung für die Bildung und den Verlauf der Gletscherströme,
- quartäre Formen und Ablagerungen im Alpenvorland.

Aufgaben:

1. Markieren Sie den Alpenrand und spüren Sie annähernd W-O-gerichtete Strukturen beiderseits des Alpenrandes auf!
2. Identifizieren Sie unter Verwendung geeigneter Atlaskarten und der Querprofile **M 41 und M 42 (C 2.1/ A 19)** die Teilräume der alpinen Gebirgsfaltung!
3. Legen Sie die Hauptstoßrichtungen der Gletscherströme und die Eisrandlagen des Isar-Loisach-Gletschers fest!
4. Beschreiben Sie die räumliche Verteilung typischer glazialer Formen und Ablagerungen in der Jungmoränenlandschaft! Berücksichtigen Sie dabei Zungenbecken, Endmoränenstadien, Drumlinfelder, Eiszerfallslandschaften und Hochmoore!

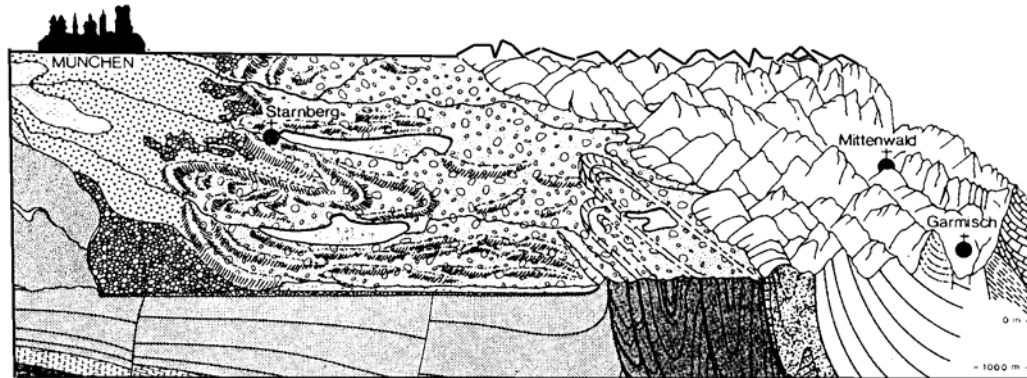
Folie F 6: München und Garmisch-Partenkirchen

LANDSAT TM vom 8.08.1995

Copyright: IG-GF, LMU 1999

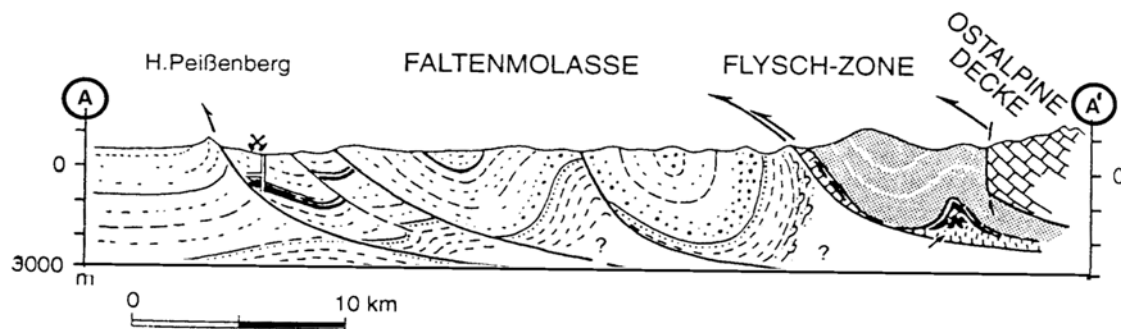
C. 2.1	Querprofile	A 19
--------	-------------	------

M 40: Geologisches Blockbild der Isar-Loisach-Region



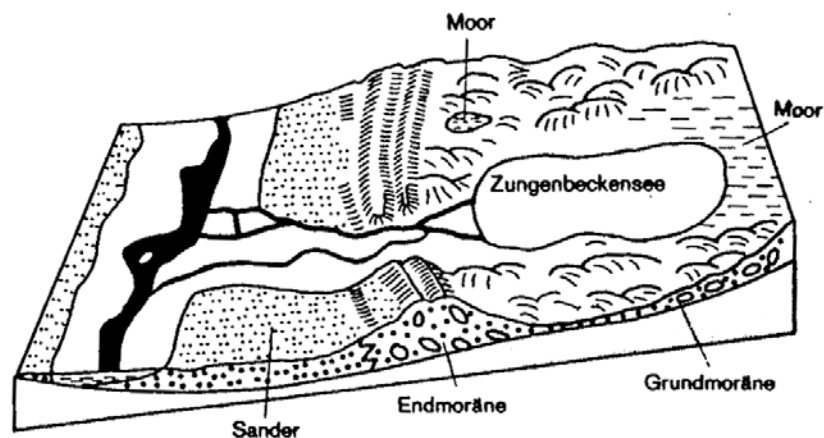
Quelle: Meyer, R. u. Schmidt-Kaler, H.: Wanderungen in die Erdgeschichte. Teil 8: Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München - östlicher Teil, S.89, München 1997

M 41: Querprofil durch die Faltenmolasse



Quelle: Lagally, U. Kube, W. u. Frank, H.: Geowissenschaftlich schutzwürdige Objekte in Oberbayern. S.89, München 1994

M 42: Die „glaziale Serie“



Quelle: Wilhelmy, H.: Geomorphologie in Stichworten. Band. III, S. 89, Kiel 1972

Aufgaben:

1. Verbinden Sie Raumstrukturen des Satellitenbildes mit geologisch-tektonischen Tatsachen in den Abbildungen M 40 und M 41!
2. Verbinden Sie Raumstrukturen des Satellitenbildes mit dem Modell der glazialen Serie in M 42, das von einer regelhaften Abfolge eiszeitlicher Aufschüttungsformen ausgeht!