



universität
wien

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Die Geofibel – Ein Handbuch zum Erkennen von Gesteinen und Verstehen
ihrer Entstehungsprozesse

verfasst von | submitted by

Martin Korherr BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 199 502 510 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB)
Unterrichtsfach Biologie und Umweltbildung
Unterrichtsfach Geographie und wirtschaftliche
Bildung

Betreut von | Supervisor:

Assoz. Prof. Dr. Urs Kloetzli

Mitbetreut von | Co-Supervisor:

Mag. Dr. Eva Kloetzli-Chowanetz

Abstract

Erdwissenschaftliche Themen sind im österreichischen Schulunterricht ein kaum beachteter Bestandteil der Unterrichtsfächer Biologie und Umweltbildung sowie Geographie und wirtschaftliche Bildung. Das Ausmaß, mit dem Erdwissenschaften Eingang in den Unterricht finden, hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab: dem Interesse und dem Fachwissen der Lehrkraft. Obwohl die Methoden und Erkenntnisse der Geowissenschaften einen wesentlichen Beitrag zur Lösung der drängendsten (Umwelt-) Probleme liefern könnten, mangelt es häufig am Interesse der Lehrenden. Mit der Entwicklung eines Bestimmungsschlüssels für in Österreich vorkommende Gesteine wird im Rahmen dieser Masterarbeit einerseits auf die Schwächen der bestehenden Bestimmungsliteratur reagiert und andererseits ein neuer Weg eingeschlagen, um Aufmerksamkeit und Interesse für die Erdwissenschaften zu wecken. Durch die direkte Beobachtung, das Begreifen und das Ertasten des realen Objektes gibt die *Geofibel* den Schülerinnen und Schülern ein Werkzeug in die Hand, das die Bestimmung eines Handstücks sowohl im Klassenzimmer als auch im Gelände ermöglicht. Die Unmittelbarkeit des Erlebten schafft Lernerfahrungen, die den Menschen in Erinnerung bleiben und damit den Anstoß für ein nachhaltiges Interesse an den Geowissenschaften bilden.

Earth sciences are barely present as a part of the subjects biology and geography in Austrian schools. The extent of geological topics Austrian pupils are taught remains strongly dependent on two main factors, namely the interest and the expertise of the teacher for Earth sciences. Teaching staff show only minor interest in Geology. However, the methods and findings of Earth sciences have the potential to contribute to the solution of today's numerous challenges (e.g. environmental problems). This master thesis presents the development of a new identification system for rocks being found in Austria. The system aims to improve weaknesses of existing identification literature and to explore new pathways to awaken interest for the topic. The handbook lays focus on direct observation, grasping and touching of real objects. Hereby, the students are provided a tool that enables the identification of rocks within the classroom as well as in the field. The immediacy of this experience creates memorable moments, thus initiating lasting effects for pushing the interest in geosciences.

Danksagung

Mein Dank gebührt jenen Menschen, die mich beim Entstehungsprozess dieser Masterarbeit begleitet und geleitet haben. Danke für ...

... die Geduld.

... die aufbauenden Worte.

... die fachliche Unterstützung.

... die tröstenden Gesten.

... die spannenden Diskussionen.

... das konstruktive Feedback.

... das füreinander da sein.

Dankeschön,

Carina, David, Eva, Günter, Lisa, Susanna und Urs,

dass ihr ein Stück des Weges mit mir gegangen seid!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
1 Einleitung.....	1
2 Motivation	2
3 Theoretische Grundlagen	4
3.1 Die Bedeutung der Geologie als Wissenschaft und ihr Stellenwert im Bildungssystem	4
3.2 Rahmenbedingungen von erdwissenschaftlichen Inhalten in der Schule ..	5
3.2.1 Lehrpläne.....	5
3.2.2 Ausbildung und Interesse der Lehrperson.....	14
3.2.3 Interesse der Schülerinnen und Schüler.....	15
4 Praktische Umsetzung	17
4.1 Die Geofibel – Die Idee, ihr Anspruch und die Gründe für ihre Entwicklung	17
4.2 Leitfaden für die Verwendung der Geofibel	19
4.3 Bestimmungsschlüssel für in Österreich häufig vorkommende Gesteine	21
4.4 Gesteinssteckbriefe	25
4.4.1 Basalt.....	25
4.4.2 Andesit.....	29
4.4.3 Rhyolith.....	31
4.4.4 Pyroklastische Ablagerungen	33
4.4.5 Gabbro.....	36
4.4.6 Granit.....	39
4.4.7 Pegmatit.....	43
4.4.8 Serpentin.....	45
4.4.9 Eklogit.....	48
4.4.10 Amphibolit.....	50
4.4.11 Glimmerschiefer	52
4.4.12 Mylonit & Ultramylonit	56

4.4.13 Gneis	60
4.4.14 Marmor	63
4.4.15 Haselgebirge/Evaporit(e)	65
4.4.16 Rauwacke	68
4.4.17 Kalk.....	70
4.4.18 Dolomit	74
4.4.19 Mergel.....	76
4.4.20 Hornsteinknollen in Mergel- oder Kalklagen	78
4.4.21 Radiolarit (Lydit).....	81
4.4.22 Sandstein.....	83
4.4.23 Brekzie.....	87
4.4.24 Konglomerat	89
4.4.25 Löss	91
5 Fazit und Schlussfolgerungen	94
6 Quellen- und Literaturverzeichnis	95
ANHANG.....	98
Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten.....	98
Geochemische Klassifikation von Magmatiten	99
Metamorphose Fazies im Druck-Temperatur (P/T) Diagramm	100
Übersicht Erdzeitalter	101
Schema: Mittelozeanischer Rücken (MOR) oder konstruktive Plattengrenze.	102
Schema: Aktiver Kontinentalrand oder destruktive Plattengrenze	103
GLOSSAR	104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mikrokristalliner, schwarzer Basalt mit kristallinen Olivin-reichen Mantel-Xenolithen von Peridotit, Kanarische Inseln (KORHERR 2024).....	27
Abbildung 2: Nahaufnahme des mikrokristallinen Basalts (schwarz) und der Olivin-reichen (grünlichen) Mantel-Xenolithe, Kanarische Inseln (KORHERR 2024).....	27
Abbildung 3: Basaltsäule, Steinberg bei Feldbach in der Steiermark (KORHERR 2024)	28
Abbildung 4: Stricklava, Kanarische Inseln (KORHERR 2024)	28
Abbildung 5: Andesit mit weißen Plagioklas-Leisten, Schottland (KORHERR 2024).....	30
Abbildung 6: Bozener Quarzporphyr, Südtirol (KORHERR 2024)	32
Abbildung 7: Nahaufnahme der mikrokristallinen Matrix (rot-braun) und der gut erkennbaren Phänokristalle des Bozener Quarzporphyr, Südtirol (KORHERR 2024)	32
Abbildung 8: Ignimbrit mit Fiamme, welche die einstige Fließrichtung des Materials widerspiegeln. Der helle Bereich am unteren Bildrand ist durch Verwitterung verändert, Südtirol (KORHERR 2024)	34
Abbildung 9: Nahaufnahme der mikrokristallinen Matrix (rötlich) sowie der Phänokristalle eines Ignimbrits, Südtirol (KORHERR 2024).....	35
Abbildung 10: Pegmatoider (grobkörniger) Gabbro (links) und feinkörniger Gabbro (rechts), Anzola - Italien (KORHERR 2024).....	37
Abbildung 11: Nahaufnahme eines Gabbros (polierte Fläche), Anzola - Italien (KORHERR 2024)	38
Abbildung 12: Granit, Antholz - Südtirol (KORHERR 2024)	40
Abbildung 13: Nahaufnahme Granit, Antholz - Südtirol (KORHERR 2024).....	41
Abbildung 14: Granit, Maissau - Niederösterreich (KORHERR 2024).....	41
Abbildung 15: Nahaufnahme Granit, Maissau - Niederösterreich (KORHERR 2024)	42
Abbildung 16: Pegmatit, Himalaya (KORHERR 2024)	44
Abbildung 17: Serpentin, Ivrea-Zone - Italien (KORHERR 2024)	46
Abbildung 18: Serpentin, Piz Mundin - Schweiz (KORHERR 2024).....	47
Abbildung 19: Eklogit, Norwegen (KORHERR 2024)	49
Abbildung 20: Amphibolit, Stubaital - Tirol (KORHERR 2024).....	51
Abbildung 21: Amphibolit, Nibbio - Norditalien (KORHERR 2024)	51
Abbildung 22: Granat-Hornblende-Glimmerschiefer, Zillertal - Tirol (KORHERR 2024)	53
Abbildung 23: Nahaufnahme von Granaten in einem Granat-Hornblende-Glimmerschiefer, Zillertal - Tirol (KORHERR 2024).....	54
Abbildung 24: Hornblende- Garbenschiefer, Zillertal -Tirol (KORHERR 2024)	54
Abbildung 25: Hornblende- Garbenschiefer, Zillertal - Tirol (KORHERR 2024)	55
Abbildung 26: Ultramylonit aus Sulztal-Granit-Gneis, Stubai Alpen - Tirol (KORHERR 2024).....	57
Abbildung 27: Nahaufnahme eines Ultramylonits aus Sulztal-Granit-Gneis, Stubai Alpen - Tirol (KORHERR 2024).....	57

Abbildung 28: Mylonit aus Orthogneis „Monte Rosa Stengelgneis“, Beura - Norditalien (KORHERR 2024)	58
Abbildung 29: Mylonit aus Orthogneis „Monte Rosa Stengelgneis“, Beura - Norditalien (KORHERR 2024)	58
Abbildung 30: Mylonit aus Orthogneis „Monte Rosa Stengelgneis“, Beura - Norditalien (KORHERR 2024)	59
Abbildung 31: Bassler Granitgneis (Orthogneis), Stubai Alpen - Tirol (KORHERR 2024)	61
Abbildung 32: Bassler Granitgneis (Orthogneis), Stubai Alpen - Tirol (KORHERR 2024)	62
Abbildung 33: Paragneis, Nordkap - Norwegen (KORHERR 2024)	62
Abbildung 34: Marmor, Kulu-Tal, Niederer Himalaya - Indien (KORHERR 2024)	64
Abbildung 35: Haselgebirge, Hallstatt - Oberösterreich (KORHERR 2024)	66
Abbildung 36: Haselgebirge (Bohrkern), Hallstatt - Oberösterreich (KORHERR 2024)	66
Abbildung 37: Haselgebirge, Hallstatt - Oberösterreich (KORHERR 2024)	67
Abbildung 38: Verwitterungsoberfläche von Rauwacke, Glarus - Schweiz (KORHERR 2024) ..	69
Abbildung 39: Rauwacke mit gut erkennbarem Gerüst aus Karbonat-Anteilen, Glarus - Schweiz (KORHERR 2024)	69
Abbildung 40: Kalkstein, Adnet - Salzburg (KORHERR 2024)	72
Abbildung 41: Kalkstein mit Calcit-Klüften, Adnet - Salzburg (KORHERR 2024)	72
Abbildung 42: Verwitterungsoberfläche eines mikritischen Kalksteins, Flyschzone, Klosterneuburg - Niederösterreich (KORHERR 2024)	73
Abbildung 43: Bruchfläche eines mikritischen Kalksteins mit Manganausfällungen, Flyschzone, Klosterneuburg - Niederösterreich (KORHERR 2024)	73
Abbildung 44: Gelblich verwitternde, boudinierte Dolomit-Lage in deformierten grauen Kalken. Die Deformation hat bei niedrigen Temperaturen stattgefunden, daher zeigt der Kalk duktile Verformung, während sich der Dolomit gleichzeitig spröde verhält und zu Boudins zerrissen wird. Stangalm – Mesozoikum, Nockberge – Kärnten. (KORHERR 2024)	75
Abbildung 45: Gelblich verwitternde, boudinierte Dolomit-Lage in deformierten grauen Kalken. Stangalm – Mesozoikum, Nockberge – Kärnten. (KORHERR 2024)	75
Abbildung 46: Lias-Fleckenmergel mit deutlicher sedimentärer Schichtung, Donauschotter, Petronell - Niederösterreich, ursprüngliche Herkunft: nördliche Kalkalpen (KORHERR 2024)	77
Abbildung 47: Hornstein (KORHERR 2024)	79
Abbildung 48: Varietäten des Hornsteins (KORHERR 2024)	79
Abbildung 49: Hornsteinlage mit scharfkantigem, muscheligen Bruch in Kalk, Wien (KORHERR 2024)	80
Abbildung 50: Radiolarit mit scharfkantigem Bruch, Passeier Spitze, Nördliche Kalkalpen – Tirol (KORHERR 2024)	82
Abbildung 51: Radiolarit mit scharfkantigem Bruch an Bildoberkante und Calcitadern, Passeier Spitze, Nördliche Kalkalpen – Tirol (KORHERR 2024)	82

Abbildung 52: Grödner Sandstein. Die rote Färbung ist auf die Oxidation bei der Ablagerung, die runde Form des Handstücks auf neuerlichen Wassertransport zurückzuführen. Südtirol - Italien (KORHERR 2024)	84
Abbildung 53: Grödner Sandstein, Südtirol – Italien (KORHERR 2024)	85
Abbildung 54: Verwitterungsoberfläche eines Flysch-Sandstein aus einem marinen Ablagerungsmilieu, Klosterneuburg – Niederösterreich (KORHERR 2024).....	85
Abbildung 55: Schnittfläche eines Flysch-Sandsteins, Klosterneuburg - Niederösterreich (KORHERR 2024).....	86
Abbildung 56: Syndementäre Kalkbrekzie mit kalkigen Bruchstücken (grau) in Kalk-Matrix (rötlich), Lienzer Dolomiten - Osttirol (KORHERR 2024).....	88
Abbildung 57: Tektonische Brekzie (Kataklastit). In grau ist das feinkörnig zerriebene Gestein, in hellbraun die Dolomit-Bruchstücke zu erkennen. Kleine Windgälle - Schweiz (KLÖTZLI E. 2009)	88
Abbildung 58: Konglomerat, Höllental - Niederösterreich (KORHERR 2024)	90
Abbildung 59: Konglomerat, Höllental - Niederösterreich (KORHERR 2024)	90
Abbildung 60: Löss, Langenlois - Niederösterreich (KORHERR 2024).....	92
Abbildung 61: Löss mit Grabgängen von Lebewesen, Langenlois - Niederösterreich (KORHERR 2024)	93
Abbildung 62: Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten (KORHERR, 2024).....	98
Abbildung 63: Geochemische Klassifikation von Magmatiten. (LE MAITRE R.W. et. al, 2002 nach COX K.G., BELL J.D. & PANKHURST R.J., 1979, adaptiert durch KORHERR 2024)	99
Abbildung 64: Metamorphose Fazies im Druck-Temperatur (P/T) Diagramm (OBERHÄNSLI R. et al., 2004)	100
Abbildung 65: Tabelle Erdzeitalter (COHEN K. M., FINNEY S. C., GIBBARD, P. L. & FAN J.-X. (2013): International Commission on Stratigraphy (ICS)	101
Abbildung 66: Mittelozeanischer Rücken (MOR) oder konstruktive Plattengrenze, bevor es zur Extrusion kommt. (nach FRISCH & MESCHEDE 2013, verändert durch KORHERR 2024)	102
Abbildung 67: Aktiver Kontinentalrand oder destruktive Plattengrenze (FRISCH & MESCHEDE 2013, verändert durch KORHERR 2024)	103

1 Einleitung

„Non scholae, sed vitae discimus: Nicht für die Schule, sondern für das Leben lernen wir“

Mit diesem bekannten Zitat, welches auf die Textstelle *„Non vitae, sed scholae discimus“* (SENECA 64: Epistulae 106,12) aus Senecas berühmtem Werk *Epistulae morales* zurückzuführen ist, soll die Motivation für die vorliegende Masterarbeit erläutert werden:

Jede Schülerin und jeder Schüler, jede Studentin und jeder Student, jede Erwachsene und jeder Erwachsener hat sich im Laufe ihres bzw. seines Lebens mindestens einmal, in den meisten Fällen aber wohl des Öfteren die Frage gestellt: „Wozu muss ich das lernen?“. Jeder Leserin und jedem Leser werden in diesem Moment vielleicht Erinnerungen an schwierige Augenblicke in das Gedächtnis gerufen, welche von Wut, Frustration, Verständnislosigkeit und eventuell sogar Selbstzweifeln geprägt waren. Diese mögen vielleicht schon Jahre zurückliegen, oder man erinnert sich mitunter an einen solchen Moment in den vergangenen Tagen. Oftmals sind wir in unserem Leben damit konfrontiert, uns mit Dingen auseinanderzusetzen, deren Sinn sich uns im ersten Moment nicht erschließt. Die Aneignung von Wissen und das Erlernen von Fertigkeiten im Rahmen des Schulunterrichts, eines Universitätsstudiums oder auch im Rahmen beruflicher Weiterbildungen gehören manchmal ebenfalls dazu. Die Ursache für das Widerstreben, gewisse Inhalte zu erlernen oder neue Fähigkeiten zu entwickeln, ist vielfach dadurch begründet, dass sich dem Lernenden die persönliche Betroffenheit nicht erschließt. Diesen Umstand erkannte Seneca bereits 62 n. Chr. und übte in den *Epistulae morales* Kritik an den römischen Philosophenschulen und an der – seinem Empfinden nach – zu geringen Praxisrelevanz der vermittelten Lerninhalte. Beinahe 2.000 Jahre später sehen sich Lehrerinnen und Lehrer noch immer mit der Herausforderung konfrontiert, ihren Unterricht an der Lebenswelt der Lernenden zu orientieren und eine persönliche Betroffenheit der Adressaten mit den Lerninhalten herzustellen.

Die vorliegende Masterarbeit ist der Versuch, diesen Praxisbezug sowohl in der theoretischen Begründung als auch in der praktischen Umsetzung für den Schulunterricht kenntlich zu machen. Das Ziel ist, den Lernenden und Lehrenden die Besonderheiten erdwissenschaftlicher Inhalte und Fragestellungen näher zu bringen und Interesse für diese Wissenschaftsdisziplin zu wecken. Des Weiteren soll die Relevanz der Erdwissenschaften für den weiteren Wissenserwerb in verwandten Wissenschaften wie der Biologie, Chemie, Geographie und Physik aufgezeigt und die Bedeutung der Kenntnis erdwissenschaftlicher Grundlagen für das private Lebensumfeld bewusstgemacht werden.

2 Motivation

Mein Interesse für die Erdwissenschaften wurde im Rahmen der Lehrveranstaltung „*Erdwissenschaftliche Grundlagen für Biologen*“ im Zuge meines Lehramtsstudiums an der Universität Wien geweckt. Bis zu diesem Zeitpunkt kann ich nicht von mir behaupten, dass mich erdwissenschaftliche Inhalte und Fragestellungen bewusst interessiert hätten. Obwohl erdwissenschaftliche Themen Teil der Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen sind (siehe Kapitel 3.2.1), wurde mir erst im Rahmen der universitären Ausbildung die Bedeutung dieser Wissenschaftsdisziplin, als Grundlage für das Verständnis der Inhalte anderer Naturwissenschaften, bewusst.

Seit diesem Erstkontakt und durch die weitere Beschäftigung mit den diversen Facetten der Geologie und Geomorphologie in weiterführenden Lehrveranstaltungen stellte sich mir immer wieder die Frage, weshalb der Anteil der Erdwissenschaften am österreichischen Schulunterricht so gering ist. Dies steht im Widerspruch zur Stellung der Erdwissenschaften als Grundlage für den Aufbau, das Verständnis und die Weiterentwicklung naturwissenschaftlichen Denkens.

Selbst auf universitärer Ebene stellen erdwissenschaftliche Inhalte einen kaum nennenswerten Teil der Ausbildung angehender Biologie- und Geographielehrerinnen und -lehrer dar. Worin liegen die Ursachen für das gegenwärtige Schattendasein der Geowissenschaften in den Lehrplänen und Curricula? Welchen Stellenwert hatte die Wissenschaftsdisziplin in früheren Zeiten? War die Geologie in früheren Lehrplänen besser vertreten als heute und hatten deren Inhalte eine größere oder geringere praktische Relevanz in der Ausbildung junger Menschen?

Ausgehend von dem anfänglichen Interesse herauszufinden, weshalb die für mich so spannenden Inhalte der Erdwissenschaften kaum Teil des österreichischen Schulunterrichts und der Curricula der Lehramtsstudien Biologie und Umweltbildung sowie Geographie und wirtschaftliche Bildung sind, möchte ich mich auch mit der Bedeutung und Relevanz der Erdwissenschaften als Wissenschaftsdisziplin beschäftigen. Spiegelt die geringe Präsenz von erdwissenschaftlichen Themen im Schulunterricht und in den Lehramtsstudien den Stellenwert der Geowissenschaften im wissenschaftlichen Diskurs wider? Haben die Geowissenschaften eventuell ein Imageproblem bzw. keine Lobby, die ihre Interessen vertritt und die Weiterentwicklung der Wissenschaft fördern, sodass ihre Themen im Eifern der Wissenschaften um Aufmerksamkeit – und damit einhergehend um finanzielle Ressourcen – ins Hintertreffen geraten? Wenn dem so ist und die Sichtbarkeit der Geowissenschaften nachlässt, entwickelt sich ein Teufelskreis. Ausgehend von einem immer geringer werdenden Anteil

an erdwissenschaftlichen Inhalten in den Lehrplänen und Curricula führt dieser zu weniger Berührungspunkten mit geologischen Themen und Fragestellungen für Kinder und Jugendliche, zu einer kleiner werdenden Community erdwissenschaftlich interessierter Menschen und schlussendlich zu einer schwindenden Bedeutung der Wissenschaft an sich. Denkt man diesen Prozess weiter, eröffnet sich ein düsteres Bild für die Zukunft von erdwissenschaftlichen Themen im Schulunterricht, die Weiterentwicklung der Fachwissenschaft sowie den Schutz von natürlichen Ressourcen und der Umwelt auf diesem Planeten.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird der gegenwärtige Forschungsstand zur Präsenz von erdwissenschaftlichen Inhalten in den österreichischen Lehrplänen dargestellt und mögliche erdwissenschaftliche Anknüpfungspunkte – in den aktuellen Lehrplänen der allgemeinbildenden höheren Schulen – aufgezeigt. Durch die Entwicklung eines praxistauglichen Lernbehelfs zum Erkennen von Gesteinen und Verstehen ihrer Entstehungsprozesse wird auf die gegenwärtigen Entwicklungen, etwa im Zuge der jüngsten Lehrplanreform, reagiert. Den Lehrkräften wird damit die Möglichkeit gegeben, erdwissenschaftliche Fragestellungen für ihre Schülerinnen und Schüler erleb- und begreifbar zu machen. Die Lernenden werden durch den zur Verfügung gestellten Lernbehelf angeregt, naturwissenschaftliche Fragen zu stellen, Antworten zu finden und Neugierde auf die Erforschung von ihnen Unbekanntem zu entwickeln. Dies soll die negativen Auswirkungen einer schwindenden Bedeutung der Erdwissenschaften auf die Schülerinnen und Schüler, die Wissenschaft und die Gesellschaft lindern bzw. im optimalen Fall die Weiterentwicklung des Wissenschaftsfeldes und damit die Bedeutung der Erdwissenschaften fördern.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Die Bedeutung der Geologie als Wissenschaft und ihr Stellenwert im Bildungssystem

In den meisten Lehrplänen des deutschsprachigen (vgl. BURGHARD 2015: 73) und angloamerikanischen Raumes (vgl. DODICK & ORION 2003: 198) sind geowissenschaftliche Inhalte kaum vertreten und finden daher nur in geringem Umfang Eingang in den Schulunterricht. Dodick und Orion (2003) führen diesen Umstand auf die historische Entwicklung der Geowissenschaften als Wissenschaftsdisziplin zurück. Lange Zeit wurde die Geologie nicht als eigenständige Wissenschaft betrachtet, sondern als von der Physik abgeleitete Disziplin, deren Methoden und Denkweisen sie sich bediene (vgl. DODICK & ORION 2003: 198, FRODEMAN 1995: 960). Gründe für diese weit verbreitete Auffassung, die nicht nur von Physikern, sondern auch von Geowissenschaftlern selbst unterstützt wurde (vgl. DODICK & ORION 2003: 206), sind gemäß Frodeman (1995) die praktischen und theoretischen Beschränkungen, die den Geowissenschaften zugeschrieben wurden. Dazu zählen die Unvollständigkeit der fossilen und stratigraphischen Evidenz, der Mangel an experimenteller Überprüfung und die eingeschränkte Möglichkeit der direkten Beobachtung geologischer Prozesse (vgl. FRODEMAN 1995: 960). Diese Eigenart der Geowissenschaften entsprach nicht dem Anspruch der damaligen Wissenschaftler, und die Geologie wurde nicht als eigenständige wissenschaftliche Disziplin anerkannt. Aus diesem Grund stand sie lange Zeit im Schatten der Physik und wurde ihrer Eigenständigkeit beraubt. Auch wenn diese Sichtweise heute als überholt gilt, ist der Stellenwert der Geowissenschaften, sowohl im öffentlichen als auch im wissenschaftlichen Diskurs, nicht mit dem der Physik, Chemie oder Biologie vergleichbar (vgl. DODICK & ORION 2003: 198).

Die Vernachlässigung und mangelnde Anerkennung der wahren Natur der Erdwissenschaften, deren Besonderheit in ihren auf naturwissenschaftlichen Prinzipien beruhenden sowie historisch interpretierenden Methoden besteht (vgl. DODICK & ORION 2003: 207), zeigt sich bis heute in der geringen Präsenz erdwissenschaftlicher Inhalte in den Lehrplänen der Schulen. Sowohl Dodick und Orion (2003) als auch Frodeman (1995) argumentieren, dass durch die mangelnde Beachtung der Geologie als wissenschaftliche Disziplin den Schülerinnen und Schülern unbeabsichtigt ein einzigartiges System wissenschaftlichen Denkens vorenthalten wird. Dies führt zu einem Mangel an Auseinandersetzung mit den drängendsten (Umwelt-) Problemen dieser Zeit. Im Gegensatz zu den in den Schulen gelehrteten Naturwissenschaften – Physik, Chemie und Biologie –, denen voraussagender, experimenteller Charakter zugeschrieben wird, wurde

die Geologie lange Zeit als historisch und beschreibend erachtet (vgl. DODICK & ORION 2003: 207). Die moderne erdwissenschaftliche Forschung jedoch basiert auf Laborexperimenten, Quantifizierungen und Modellierung geologischer Prozesse. Mitunter ist auch das Sammeln von Belegstücken in der Natur und die Interpretation von Fundstücken von großer Bedeutung. Das „*retrospektive Denken*“ (DODICK & ORION 2003: 207) umfasst dabei auch die Rekonstruktion von erdgeschichtlichen Ereignissen anhand gegenwärtiger Bedingungen (Aktualismus von James Hutton, 1795). Während sich die experimentellen Wissenschaften vorrangig mit der Entwicklung von universell gültigen Gesetzen beschäftigen, sind es die Geowissenschaften, die den Schülerinnen und Schülern ein Verständnis für die zeitliche Dimension von Veränderungen geben können (DODICK & ORION 2003: 207f.). Das Wissen um die Bedeutung des Faktors Zeit ist nicht nur für die Geowissenschaften, sondern auch für das Verständnis von „*Evolution, Ökologie und Astronomie*“ (DODICK & ORION 2003: 208) essenziell. Die Klimakrise mit ihren zahlreichen miteinander verknüpften und sich wechselseitig bedingenden Faktoren macht deutlich, dass die Methoden und Arbeitsweisen der Geowissenschaften in Zukunft einen wichtigen Beitrag für Wissenschaft und Bildung im Besonderen, als auch für das Wohlergehen unseres Planeten im Allgemeinen leisten können (vgl. DODICK & ORION 2003: 208).

3.2 Rahmenbedingungen von erdwissenschaftlichen Inhalten in der Schule

3.2.1 Lehrpläne

Gemäß Lehrplan der allgemeinbildenden höheren Schulen (AHS) ist dessen Funktion, Vorgaben zu definieren, welche die „*Einheitlichkeit und Durchlässigkeit des Schulwesens*“ garantieren. „*Der Lehrplan dient als Grundlage für die Konkretisierung des Bildungsauftrags der Schule sowie die Planung und Steuerung des Unterrichts in inhaltlicher und in methodischer Hinsicht*“ (RIS BGBl. Nr. 88/1985: tagesaktuelle Fassung 24.02.2024). Somit entscheidet er maßgeblich, was wie in den Schulen gelehrt und gelernt wird. Die Inhalte der Lehrpläne sind – in einem gewissen Ausmaß – das Abbild des Wissens, welches zum gegenwärtigen Zeitpunkt von einer Gesellschaft als wichtig erachtet wird. Um die Aktualität der Inhalte zu gewährleisten, spiegelt die regelmäßige Weiterentwicklung der Pläne die wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Erkenntnisse im Laufe der Zeit wider.

Bereits 2015 beschäftigte sich Sandra Burghard in ihrer Diplomarbeit mit der Entwicklung des Lehrplans im Unterrichtsfach Biologie und Umweltbildung (damals noch als Biologie

und Umweltkunde bezeichnet) unter Berücksichtigung der erdwissenschaftlichen Inhalte. In ihren Analysen zeigte sich, dass alle Lehrpläne seit 1849 erdwissenschaftliche Themen beinhalten (vgl. BURGHARD 2015: 55). Ab 1985 war aber eine deutliche quantitative Abnahme zu verzeichnen (vgl. BURGHARD 2015: 6). Bis zur Lehrplanreform 1985 wurde *„eine breite Spannweite von geologischen Inhalten abgedeckt und die Lehrpläne sind durch erdwissenschaftliche Themenvielfalt gekennzeichnet“* (BURGHARD 2015: 73). Seither wurde dieser Anteil zugunsten anderer Themen weiter reduziert. Ursachen für den zunehmenden Bedeutungsverlust der Erdwissenschaften im Schulunterricht sind mangelhafte Bestrebungen, die omnipräsenten Bezüge der Geologie aus dem Alltag im Unterricht aufzugreifen (vgl. BURGHARD 2015: 87).

Die aktuellen Lehrpläne der AHS - Unterstufe sowie AHS-Oberstufe in den Unterrichtsfächern Biologie und Umweltbildung sowie Geographie und wirtschaftliche Bildung beinhalten folgende Lerninhalte, um geologische Themen im Schulunterricht direkt zu behandeln. Beispiele für die mögliche Verortung in der Geologie gemäß Verordnung des Bundesministers für Unterricht und Kunst vom 14. November 1984 über die Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht an diesen Schulen StF: BGBl. Nr. 88/1985 idF BGBl. II Nr. 239/2023, Anlage A sind:

Tabelle 1: Beispiele für die Verortung der Geologie in den Lehrplänen der allgemeinbildenden höheren Schulen im Unterrichtsfach Biologie und Umweltbildung

Lehrplanbezug	Verortung in der Geologie
Biologie und Umweltbildung - 3. Klasse / 7. Schulstufe	
<i>Gesteinskreislauf und Plattentektonik, Zusammenhänge zwischen Geologie und Lebensräumen</i>	<p>Gesteinskreisläufe im Bereich der ozeanischen sowie kontinentalen Lithosphäre, zwei Kreisläufe!</p> <ul style="list-style-type: none"> * Sedimentationskreislauf * Wilson Zyklus <ul style="list-style-type: none"> – intrakontinentales Rift – Ozeanbodenbildung, passive und aktive Kontinentalränder – Schließung des Ozeanbeckens, konstruktive, destruktive und konservative Plattengrenzen – von der Plattentektonik zum Aufbau eines Orogens – physikalische Verwitterung und Transport <p>→ Plattentektonik</p>
<i>Funktion von Mikroorganismen im Boden, Bedeutung des Bodens für die Pflanzen, anthropogene Einflüsse auf den Boden</i>	<ul style="list-style-type: none"> * Chemische Verwitterung * Entwicklung der Bodenhorizonte von <ul style="list-style-type: none"> A ⇨ Lösung B ⇨ Bildung von Tonmineralen & Oxiden C ⇨ Ausgangsgestein * Böden sind je nach Relief sehr unterschiedlich (aufgrund der Alpen in Österreich viele AC - Böden) <p>→ Bodenkunde</p>
<i>Entstehung von Fossilien und Geschichte des Lebens auf der Erde</i>	<ul style="list-style-type: none"> * Klimaschwankungen im Pleistozän * Verteilung fossiler Organismen als Beleg für die Plattentektonik * Kohlelagerstätten als fossile Energieträger <p>→ Biostratigraphie</p> <p>→ Paläoökologie</p>

Lehrplanbezug	Verortung in der Geologie
Biologie und Umweltbildung - 6. Klasse / 10. Schulstufe	
<u>4. Semester – Kompetenzmodul 4:</u> Aufbau und Struktur der Erde, geodynamische Formungskräfte	<ul style="list-style-type: none"> * Schalenmodell der Erde * Seismik * von der Plattentektonik zum Aufbau eines Orogens (Entwicklung des Alpenorogens) * Erklärung der Gesteinsgenese anhand plattentektonischer Prozesse (siehe Absatz <i>Herkunft</i> in den Steckbriefen) <p>➔ Geophysik</p> <p>➔ Tektonik</p>

Darüber hinaus hat das Lehrpersonal die Möglichkeit durch eine kreative Auslegung des Lehrplanes geologischen Aspekten verstärkt Platz zu geben. Beispiele für die Anbindung der Geologie gemäß Verordnung des Bundesministers für Unterricht und Kunst vom 14. November 1984 über die Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht an diesen Schulen StF: BGBl. Nr. 88/1985 idF BGBl. II Nr. 239/2023, Anlage A sind:

Tabelle 2: Beispiele für die Anbindung der Geologie in den Lehrplänen der allgemeinbildenden höheren Schulen im Unterrichtsfach Biologie und Umweltbildung

Lehrplanbezug	Anbindung der Geologie
Biologie und Umweltbildung - 5. Klasse / 9. Schulstufe	
<u>1. und 2. Semester –</u> <u>Kompetenzmodul 1 und 2:</u> - Ökologie und Nachhaltigkeit: (Welt-) Ernährung, verschiedene Formen der Landwirtschaft	Flächenerosion, Verdichtung, Versiegelung, Einsatz von Kunstdüngern und energieintensiver Produktionsmethoden inkl. Einsatz von Großgeräten sowie Monokulturen (Ölpalmen, Eukalyptus, ...) schädigen den Boden V.S. ökologische Landwirtschaft, die diese negativen Auswirkungen verhindert <p>➔ Geoökologie</p>

Lehrplanbezug	Anbindung der Geologie
Biologie und Umweltbildung - 6. Klasse / 10. Schulstufe	
<p><u>3. Semester – Kompetenzmodul 3:</u></p> <p>- Vernetzte Systeme: Ökologie, Ökonomie und Nachhaltigkeit</p>	<p>Erneuerbare Ressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> * Ressource und Energieträger Wasser: <ul style="list-style-type: none"> – Ressource: Grundwasser und Karstwasser zur Wasserversorgung – Energiegewinnung: Speicherkraftwerke und Laufkraftwerke <p>→ Hydrogeologie</p> <ul style="list-style-type: none"> * Ressource und Lebensraum Boden: <ul style="list-style-type: none"> – Ressource: Agrarfläche für landwirtschaftliche Produktion – Wasserspeicher (Grundwasser) sowie Wasserfilter, Rohstofflieferant (Tone, Sande, Schotter, ...) <p>→ Geoökologie</p> <p>Gefährdung von Infrastruktur durch Massenbewegungen infolge von menschlichen Eingriffen und Klimawandel (z.B. Seilbahnwirtschaft)</p> <p>→ Risikogeologie</p> <p>Ansiedelung von Firmen bei sinkendem Grundwasserspiegel</p> <p>→ Hydrogeologie</p> <p>gesunde Böden und Grundwasserschutz im Spannungsfeld von Landwirtschaft/Tourismus/Industrie</p> <p>→ Bodenkunde</p> <p>→ Hydrogeologie</p>

Tabelle 3: Beispiele für die Anbindung der Geologie in den Lehrplänen der allgemeinbildenden höheren Schulen im Unterrichtsfach Geographie und wirtschaftliche Bildung

Lehrplanbezug	Anbindung der Geologie
Geographie und wirtschaftliche Bildung - 1. Klasse / 5. Schulstufe	
<u>Kompetenzbereich Leben und Wirtschaften unter Beachtung der natürlichen Prozesse</u> Die Schülerinnen und Schüler können - Wechselwirkungen von Naturereignissen, Lebensqualität und Wirtschaften der Menschen anhand von Fallbeispielen beschreiben und erörtern;	Naturgefahren * Vulkanismus – Tourismus (Thermalquellen, Geysire) – Energienutzung * Erdbeben * Massenbewegungen * Überflutungen → Exogene Prozesse
Geographie und wirtschaftliche Bildung - 2. Klasse / 6. Schulstufe	
<u>Kompetenzbereich Nachhaltiger Umgang mit Energie und Ressourcen</u> Die Schülerinnen und Schüler können - die Nutzung erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energieträger vergleichen und aus den Blickwinkeln von Klimawandel und Nachhaltigkeit reflektieren; - den verantwortungsvollen Umgang mit den natürlichen Ressourcen wie Wasser, Luft oder Boden erörtern und im Alltag umsetzen sowie die Bedeutung gesetzlicher Rahmenbedingungen anhand von Beispielen beschreiben.	Erneuerbare Ressourcen * Ressource und Energieträger Wasser: – Ressource: Grundwasser und Karstwasser zur Wasserversorgung – Energiegewinnung: Speicherkraftwerke und Laufkraftwerke → Hydrogeologie * Ressource und Lebensraum Boden: – Ressource: Agrarfläche für landwirtschaftliche Produktion – Wasserspeicher (Grundwasser) sowie Wasserfilter, Rohstofflieferant (Tone, Sande, Schotter, ...) → Geoökologie Rohstoffe: * Energieträger Kohlenwasserstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) * Sonstige Rohstoffe: – Uran – Lithium, seltene Erden → Rohstoff- /Prospektionsgeologie

Lehrplanbezug	Anbindung der Geologie
Geographie und wirtschaftliche Bildung - 4. Klasse / 8. Schulstufe	
<p><u>Kompetenzbereich Mensch und Natursysteme</u></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler können</p> <ul style="list-style-type: none"> - das Ausmaß des menschlichen Einflusses auf Natursysteme anhand von Beispielen wie Einbringung von Schadstoffen, Land- und Ressourcennutzung (auch verknüpft mit eigenen Beobachtungen) beschreiben; - Folgen der Überschreitung von Belastungsgrenzen der Erde, des Klimawandels oder des Artensterbens auf das Leben und Wirtschaften erörtern; - über das sich wandelnde Verhältnis zwischen Mensch und Natur reflektieren, bereits etablierte Maßnahmen und Konzepte zum nachhaltigen Leben und Wirtschaften analysieren und eigene Ideen für nachhaltige Handlungen entwickeln. 	<ul style="list-style-type: none"> * Trockenlegung von Feuchtgebieten und Mooren für die Nutzung als Agrarfläche. Moore sind CO₂- Speicher, die Trockenlegung bedingt aber dessen Freisetzung. * Flussregulierungen zur Flächengewinnung und als Hochwasserschutz. Verlagerung der Hochwassergefahr flussabwärts. <p>➔ Hydrogeologie</p> <ul style="list-style-type: none"> * gravitative Massenbewegungen (Felsstürze, Erdrutsche, Muren, ...) als Folge menschlicher Eingriffe (Übernutzung, Bodendegradation, Bodenerosion, Abholzung, Staudambauten, ...) und Auswirkung des vom Menschen beeinflussten Klimawandels (Verschwinden des Permafrostes, ...) <p>➔ Exogene Prozesse</p>
<p><u>Kompetenzbereich Entwicklungen in einer globalisierten Welt</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Elemente, Anforderungen und Herausforderungen nachhaltiger wirtschaftlicher Aktivitäten und Beziehungen in der globalisierten Welt diskutieren z.B. vor dem Hintergrund von Klimawandel, Ressourcenknappheit, Armut und Wohlstand, Flucht und Migration beschreiben und Handlungsstrategien verschiedener Akteure diskutieren. 	<ul style="list-style-type: none"> * Auswirkungen des Abbaus und Transports von Rohstoffen auf Lebensräume und Klima (Li-Abbau) * Rohstoffrecycling zur Integration ehemaliger Rohstoffe in den Wirtschaftskreislauf (Bergbau energieintensiver als Recycling) <p>➔ Rohstoff-/Prospektionsgeologie</p>

Lehrplanbezug	Anbindung der Geologie
Geographie und wirtschaftliche Bildung - 5. Klasse / 9. Schulstufe	
<p><u>1. und 2. Semester – Kompetenzmodul 1 und 2:</u></p> <p>Die soziale, ökonomisch und ökologisch begrenzte Welt</p> <p><i>Gliederungsprinzipien der Erde nach unterschiedlichen Sichtweisen reflektieren</i></p> <p>- Gliederungsmöglichkeiten der Erde nach naturräumlichen, kulturellen, politischen und ökonomischen Merkmalen analysieren</p>	<p>Unterscheidung des Geländes in ...</p> <ul style="list-style-type: none"> * nutzbar/nicht nutzbar * bebaubar/unbebaubar (landwirtschaftlich bzw. mit Infrastruktur) * Relief/Morphologie je nach Gesteinsart: * Wasserverfügbarkeit (Karst vs. nicht Karst) * risikobehaftet/ nicht risikobehaftet <p>→ Geomorphologie</p> <p>→ Geoökologie</p>
<p><i>Geoökosysteme der Erde analysieren</i></p> <p>- Wechselwirkungen von Klima, Relief, Boden, Wasser und Vegetation analysieren</p> <p>Nutzungskonflikte an regionalen Beispielen reflektieren</p> <p>- <i>Regionale Konflikte über die Verfügbarkeit von knappen Ressourcen (Boden, Wasser, Bodenschätze, usw.) und dahinter stehende politische Interessen erklären</i></p> <p>- <i>Unterschiedliche Folgen von Naturereignissen aufgrund des sozialen und ökonomischen Gefüges beurteilen</i></p> <p>- <i>Tragfähigkeit der Einen Welt zukunftsorientiert reflektieren</i></p>	<p>Erneuerbare Ressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> * Ressource und Energieträger Wasser: <ul style="list-style-type: none"> – Ressource: Grundwasser und Karstwasser zur Wasserversorgung – Energiegewinnung: Speicherkraftwerke und Laufkraftwerke <p>→ Hydrogeologie</p> <ul style="list-style-type: none"> * Ressource und Lebensraum Boden: <ul style="list-style-type: none"> – Ressource: Agrarfläche für landwirtschaftliche Produktion – Wasserspeicher (Grundwasser) sowie Wasserfilter, Rohstofflieferant (Tone, Sande, Schotter, ...) <p>→ Geoökologie</p> <p>Rohstoffe:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Energieträger Kohlenwasserstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) * Sonstige Rohstoffe: <ul style="list-style-type: none"> – Uran – Lithium, seltene Erden <p>→ Erdöl/Erdgas – Geologie</p>

Lehrplanbezug	Anbindung der Geologie
<p><i>Geoökosysteme der Erde analysieren (Fortsetzung)</i></p>	<p>Gefährdung von Infrastruktur durch Massenbewegungen infolge von menschlichen Eingriffen und Klimawandel (z.B. Seilbahnwirtschaft)</p> <p>→ Risikogeologie</p> <p>Ansiedelung von Firmen bei sinkendem Grundwasserspiegel</p> <p>→ Hydrogeologie</p>
<p align="center">Geographie und wirtschaftliche Bildung - 6. Klasse / 10. Schulstufe</p>	
<p><u>3. Semester – Kompetenzmodul 3:</u></p> <p>Vielfalt und Einheit – Das neue Europa</p> <p><i>Raubegriff und Strukturierung Europas diskutieren</i></p> <p>- Gliederung Europas nach naturräumlichen, gesellschaftlichen und ökonomischen Merkmalen vergleichen</p> <p><i>Außerwert- und Inwertsetzung von Produktionsgebieten beurteilen</i></p> <p>- Abhängigkeit landwirtschaftlicher Nutzung vom Naturraumpotential untersuchen</p> <p>- <i>Strukturen und Wandel landwirtschaftlicher und industrieller Produktionsbedingungen in Europa vergleichen</i></p> <p>- <i>Eignung von Räumen für die Tourismusentwicklung sowie Folgen der Erschließung beurteilen</i></p>	<p>regionale Geologie Europa (Orogenesen vs. tektonische Ruhephasen (alpidische, variszische und kaledonische Orogenese)</p> <p>Relief und Boden als zentralen Standortfaktor erkennen</p> <ul style="list-style-type: none"> * leistungsfähige Landwirtschaft auf Böden mit hoher Güte * geomorphologische Aspekte der Erschließung des Alpenraumes <p>→ regionale Geologie</p>

Lehrplanbezug	Anbindung der Geologie
Geographie und wirtschaftliche Bildung - 7. Klasse / 11. Schulstufe	
<u>5. Semester – Kompetenzmodul 5:</u> Österreich – Raum – Gesellschaft – Wirtschaft <i>Wirtschaftsstandort Österreich beurteilen</i> - Vor- und Nachteile des Wirtschaftsstandortes Österreich aus unterschiedlicher Sicht erarbeiten und mit anderen Staaten vergleichen - <i>Entstehung regionaler Disparitäten analysieren</i> - <i>Auswirkungen regionaler Disparitäten auf das Alltagsleben und die Wirtschaft erläutern</i>	Geomorphologische, hydrogeologische und klimatologische Voraussetzungen zur Nutzung der Wasserkraft. Standortvorteil Österreichs zur Energieerzeugung aufgrund des hohen Reliefs als Voraussetzung für Speicher- und Laufkraftwerke → Hydrogeologie → Geomorphologie
<u>6. Semester – Kompetenzmodul 6:</u> Österreich – Raum – Gesellschaft – Wirtschaft <i>Naturräumliche Chancen und Risiken erörtern</i> - <i>Geoökologische Faktoren und Prozesse erklären</i> - Naturräumliche Gegebenheiten als Chance der Regionalentwicklung erkennen - <i>Naturräumliche sowie soziale Gegebenheiten und Prozesse als Ursachen ökologischer Probleme erörtern</i> - <i>Eigene Strategien für ökologisch nachhaltiges Handeln entwickeln</i>	Möglichkeiten des Reliefs * hohes Relief (Wintersport, Wasserkraft) * niederes Relief (Landwirtschaft, Industrie- und Siedlungsraum) * Nationalparks als attraktives Tourismusgebiet → Geomorphologie Verfügbarkeit von Rohstoffen * Eisenerze für Metall- und Stahlerzeugung * Kalk für Zementindustrie * Wolfram * Salz → Rohstoffgeologie

3.2.2 Ausbildung und Interesse der Lehrperson

Das Maß, mit dem die vielfältigen Themen der Erdwissenschaften in den österreichischen Schulunterricht Eingang finden, scheint neben den Vorgaben der Lehrpläne vor allem auf das Interesse bzw. Desinteresse der Lehrerinnen und Lehrer zurückzuführen zu sein (vgl.

HARTLEB 2018, RAINER 2016). RAINER (2016) formuliert diesen Umstand besonders treffend:

„Wie viel Geologie im Unterricht wirklich stattfindet ist vor allem von den persönlichen und thematischen Präferenzen der Lehrer/innen und den schulautonomen Schwerpunktsetzungen abhängig. Somit kann die Gewichtung der Geologie im Unterricht von Lehrperson zu Lehrperson und von Schule zu Schule stark variieren“ (RAINER 2016: 13).

Bereits Burghard (2015) argumentierte, dass es verschiedene – auf das Lehrpersonal bezogene – Ansätze gibt, um erdwissenschaftliche Themen stärker in den Unterricht zu integrieren. Die Möglichkeiten der Lehrperson, als zentraler Akteur der Unterrichtsgestaltung, bestehen darin, durch eine *„freizügigere Gewichtung der Themen“* (BURGHARD 2015: 73) verstärkt geologische Inhalte zu behandeln bzw. als Referenzen in den Unterricht einfließen zu lassen (siehe Kapitel 3.2.1). Zudem schlägt Burghard (2015) vor, *„einerseits Module und aufbereitete Unterrichtsmaterialien (Handouts) zum Thema Geologie zu entwickeln und andererseits Ergänzungen der Inhalte in den Lehrplänen anzustreben“* (BURGHARD 2015: 73).

Selbstverständlich obliegt nicht die gesamte Verantwortung für die Lerninhalte der Schülerinnen und Schüler der Lehrperson. Die wesentlichen Lernziele des Schulunterrichtes sind in den Rahmenlehrplänen der verschiedenen Schultypen gesetzlich verankert. Die Mehrheit des Lehrpersonals in den Unterrichtsfächern Biologie und Umweltbildung sowie Geographie und wirtschaftliche Bildung setzt sich mit seinen Schülerinnen und Schülern zwar mit den vorgesehenen Themenbereichen auseinander, die selten vorhandene Freude an erdwissenschaftlichen Inhalten auf Seiten der Lehrenden (vgl. RAINER 2016: 13), überträgt sich aber leider in vielen Fällen auch auf die Lernenden. Damit wird eine ablehnende Haltung perpetuiert und die Möglichkeit zur Durchführung eines vielfältigen, spannenden und lehrreichen Unterrichts verpasst.

Dem Einfluss der Lehrkraft, was gelehrt wird, sind aufgrund der Lehrpläne Grenzen gesetzt. Das Ausmaß und die Intensität, wie etwas gelehrt wird, sind aber entscheidend von ihrem Interesse und ihrer Expertise mitbestimmt.

3.2.3 Interesse der Schülerinnen und Schüler

Abschließend richten wir den Blick auf die Lernenden und ihre Motivation für die Auseinandersetzung mit erdwissenschaftlichen Inhalten. Markus Kaiser (2017) beschäftigte sich im Rahmen seiner Diplomarbeit mit dem *Geologie-Anteil im Biologie und Umweltkunde-Unterricht* in der Steiermark und führte Befragungen an 459 Schülerinnen

und Schülern von zehn Bundes(real)gymnasien sowie 217 Studierenden des Lehramtsstudiums Biologie und Umweltbildung sowie Fachstudiums Geologie durch. Seine Erhebung umfasste die Befragung zu den im Unterrichtsfach Biologie und Umweltbildung erlernten erdwissenschaftlichen Themen, Wissensfragen zur Geologie, den Aufbau des Unterrichts und der verwendeten Methoden. Weiters erhob er Daten zur Selbsteinschätzung über das vorhandene erdwissenschaftliche Wissen, die Motivation und das Interesse der Lernenden. In Ermangelung einer breiteren Datenlage über das Interesse von Schülerinnen und Schülern an erdwissenschaftlichen Inhalten stellt die Arbeit von Kaiser (2017) die einzigen Erkenntnisse zur Beantwortung dieser Fragestellungen für den österreichischen Schulunterricht zur Verfügung.

Die Auswertungen von Kaiser (2017) zeigen, dass der Großteil der Schülerinnen und Schüler der Ansicht ist, viel über die Entwicklung der Erde sowie Mineralogie gelernt zu haben. Im Gegensatz dazu vertritt die Mehrheit aber auch die Meinung, wenig über die Geologie im Allgemeinen und die Geologie von Österreich im Besonderen zu wissen. Die Mehrheit der Lernenden beschäftigt sich zudem weder gerne mit den Erdwissenschaften, noch möchte sie mehr über Geologie wissen. Das beliebteste Hilfsmittel der Lehrerinnen und Lehrer, für die Ausarbeitung von erdwissenschaftlichen Themen im Rahmen des Unterrichts, ist das Schulbuch. Als Basis des Unterrichtsgeschehens hängt die Qualität des erdwissenschaftlichen Unterrichts entscheidend von dessen Aufbereitung ab. Das Resümee von Kaiser (2017) spiegelt die zentralen Erkenntnisse des Kapitels 03.2.2 wider, indem neben dem Zeitmangel an den Schulen, vor allem die Motivation und das Interesse der Lehrenden als bestimmende Faktoren identifiziert werden (vgl. KAISER 2017: 141).

4 Praktische Umsetzung

4.1 Die Geofibel – Die Idee, ihr Anspruch und die Gründe für ihre Entwicklung

Den Kern dieser Masterarbeit bildet die Geofibel, ein Handbuch zum Erkennen von Gesteinen und Verstehen ihrer Entstehungsprozesse. Sie ist als Lernbehelf für den Einsatz im österreichischen Schulunterricht konzipiert und soll eine einfache Ersterkundung der wichtigsten in Österreich vorkommenden Gesteinsarten ermöglichen. Das Instrument ist, entsprechend der Verortung von erdwissenschaftlichen Inhalten in den Lehrplänen der Sekundarstufe I und II, für die Unterrichtsfächer Biologie und Umweltbildung sowie Geographie und wirtschaftliche Bildung konzipiert. Im Gegensatz zur vorhandenen Bestimmungsliteratur, die aufgrund der verwendeten Bestimmungsmethoden meist nicht für Kinder und Jugendliche geeignet ist, lässt dieser Bestimmungsschlüssel eine Ersterkundung auch für diese junge Zielgruppe zu. Er sucht seinen Zugang über die direkte Beobachtung und das Begreifen am realen Objekt. In diesem Zusammenhang wären erdwissenschaftliche Exkursionen und der Aufbau bzw. die Ergänzung einer Lehrsammlung an der Schule wichtig und sinnvoll. Erfahrungen und Erlebnisse, die von den Lernenden im Gelände gemacht werden, ermöglichen ein tiefgreifendes Verständnis von naturwissenschaftlichen Phänomenen, die in dieser Qualität und Nachhaltigkeit nicht im Klassenraum erzielt werden können (vgl. MORAG & TAL 2012, TAL 2012 und UITTO et al. 2006). Auch Burghard (2015) verfolgte einen ähnlichen Ansatz und schreibt in ihrer Diplomarbeit besonders treffend: *„Betrachtung am realen Objekt, das Betasten, das Begreifen im wahrsten Sinne des Wortes sollen wieder an Bedeutung gewinnen. Das Fühlen, das Riechen, vielleicht sogar das Schmecken machen unvergessliche Momente aus, die das Lernen mit allen Sinnen fördern und so das Erlernte zu einer Gesamterkenntnis ausbauen, die nicht mehr so leicht in Vergessenheit gerät“* (BURGHARD 2015: 82).

Die Entwicklung des hier vorgestellten Gesteinsbestimmungsschlüssels bot sich aufgrund mehrerer Gründe an:

- Ein dem Menschen ureigenes Bedürfnis ist es, die belebten und unbelebten Elemente der Natur zu klassifizieren, zu ordnen (vgl. KATTMANN & SCHMITT 1996: 29f.) und zu verstehen. Dieses eng mit dem naturwissenschaftlichen Denken verbundene Bestreben ist in den meisten Fällen der Ausgangspunkt für alle weiteren Fragen. Mithilfe des Bestimmungsschlüssels soll durch die Bestimmung und Kenntnis des Gesteintyps bzw. der Gesteinsart Interesse geweckt und der Anreiz weitere Fragen zu stellen, geschaffen werden. Erst wenn

die bzw. der Lernende weiß, worum es sich handelt, wird sie bzw. er weitere Fragen nach dem Entstehungsprozess, dem Verwendungszweck, usw. stellen.

- Die vielfach praktizierte Reduzierung der Gesteinsarten auf den Farbeindruck und die mineralogische Zusammensetzung stellen eine Herausforderung der klassischen Bestimmungsliteratur dar. Die übliche Unterscheidung von Gesteinen anhand des Mineralgehaltes mittels Dünnschliffpräparation ist im Gelände nicht möglich. Auch die in Bestimmungsbüchern oftmals vorhandenen Beispielfotos stiften in vielen Fällen Verwirrung, da oft nur eine einzelne Abbildung dazu dient, die in vielen Fällen vorhandene große Diversität der Gesteinsarten exemplarisch abzudecken. Unsere Zielgruppe aus Schülerinnen, Schülern, Studierenden und Lehrenden verfügt weder über die technische Ausstattung noch über ein jahrelang aufgebautes und durch Versuch und Irrtum geschärftes Verständnis, um eine korrekte Bestimmung von Gesteinen vorzunehmen. Die Geofibel sucht einen Weg, ohne Dünnschliffe und einschlägiges Fachstudium eine ausreichend präzise Zuordnung von Gesteinen in Gesteinsklassen und -typen zu ermöglichen.
- Wenn es gut ausgebildete Geologinnen und Geologen braucht, um Antworten auf die drängendsten Fragen und Probleme zu finden, mit denen wir uns als Gesellschaft konfrontiert sehen, dann müssen wir durch qualitativ hochwertigen, d.h. in meinen Augen vor allem einen für die Schülerinnen und Schüler interessanten Unterricht, bereits in der Schule den Grundstein legen und Interesse an den Erdwissenschaften wecken.
- Der Lehrkraft und ihrem Interesse an erdwissenschaftlichen Themen kommt eine zentrale Rolle zu, wenn eine Steigerung der Qualität und Quantität geologischer Inhalte am Unterrichtsgeschehen erfolgen soll (vgl. BURGHARD 2015, KAISER 2017). Damit mehr Menschen an den Erdwissenschaften Gefallen finden, müssen fachlich korrekte und für die Lehrenden und Lernenden interessante Themen aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden.
- Die Ausarbeitung von fachlich korrekten, didaktisch durchdachten und ansprechend gestalteten Lernbehelfen ist allerdings eine zeit- und ressourcenintensive Aufgabe, für die den wenigsten Lehrenden ausreichend Zeit und Raum zur Verfügung steht.

Aufgrund dieser Gründe möchte ich im Rahmen dieser Masterarbeit die Geofibel zur Bestimmung von Gesteinen beisteuern. Im Unterschied zu der in der gängigen Literatur üblichen rein deskriptiven Beschreibung von Gesteinen wird mit dem Bestimmungsschlüssel der Geofibel der Versuch gewagt, Gesteine anhand ihrer visuellen und haptischen Merkmale zu klassifizieren. Im Gegensatz zur klassischen Bestimmungsliteratur wird die Nutzerin bzw. der Nutzer über Ja/Nein-Fragen durch den

Bestimmungsschlüssel geführt. Diese Herangehensweise ermöglicht auch dem ungeübten Laien eine einfache, aber korrekte Ersterkundung. Ergänzende Materialien sind: Steckbriefe zu den Gesteinsarten, Abbildungen, Diagramme und Schemata sowie ein Glossar, die den Entstehungsprozess des untersuchten Objekts nachvollziehbar und die wirtschaftliche Bedeutung von Gesteinen begreifbar machen. Die Geofibel stellt meinen Beitrag zur Hebung des Interesses an den Erdwissenschaften dar. Durch die Partizipation der Lernenden sollen diese eine aktive Rolle im Unterrichtsgeschehen einnehmen. Sie sollen Probleme erkennen, Hypothesen und Forschungsfragen formulieren, Vermutungen anstellen, Informationen suchen, experimentieren, beobachten, ihre Beobachtungen diskutieren und ihre Ergebnisse reflektieren.

4.2 Leitfaden für die Verwendung der Geofibel

Das Herzstück der Geofibel stellt ein Bestimmungsschlüssel dar, der die Kategorisierung von Gesteinen in Gesteinsklassen und -typen sowie bestenfalls eine korrekte Bestimmung der Gesteinsart ermöglicht. Das Instrument ist ohne aufwendige technische Hilfsmittel sowohl im Gelände als auch in der Klasse einsetzbar.

Der **Bestimmungsschlüssel** besteht aus vier Seiten, die von oben nach unten zu lesen sind. Jede Zeile entspricht einer der sieben Bestimmungskategorien. Anhand der ersten drei Kategorien: *Bausteine*, *Gesteinsgefüge* sowie *Korngrößen/Korngrößenverteilung* kann eine Zuordnung des Handstücks entsprechend der *Gesteinsklasse* und des *Gesteinstyps* vorgenommen werden. Die Gesteinsklasse der

- Magmatite mit ihren Gesteinstypen
 - Vulkanite (orange)
 - Plutonite (rot)
- Metamorphite (rosa)
- Sedimente mit ihren Gesteinstypen
 - chemisch (blau)
 - chemisch - biogen (blau)
 - klastisch (gelb)

folgen dabei einem Farbcode, der für die gesamte Geofibel gleich ist. Dies soll die weitere Suche erleichtern. Jede Spalte umfasst jene Merkmale, die für eine Gesteinsart bestimmend sind. Entscheidende Merkmale sind zudem farblich hervorgehoben. Der Farbeindruck von Bruchflächen, die Beschaffenheit der Gesteinsoberfläche sowie die Löslichkeit der Proben ermöglichen eine weiterführende Bestimmung. Die Oberfläche ist der Verwitterung ausgesetzt, dadurch treten resistenter Mineralien hervor, andere werden herausgewittert und hinterlassen „Löcher“. Die Löslichkeit von Karbonaten in kalter

3%iger bzw. 10%iger Salzsäure (HCl) bzw. Salz in Wasser (H₂O) stellen eine weitere Bestimmungsmethode dar. Interessante Ausprägungen werden in der Kategorie „*Varietäten*“ zusammengefasst und dienen der Ergänzung des Gesamteindrucks.

Die **Gesteinssteckbriefe** beschreiben die Gesteinsarten des Bestimmungsschlüssels näher. Sie ermöglichen, den ersten Eindruck zu vertiefen und zusätzlich den Entstehungsprozess nachzuvollziehen. Durch Verweise auf Kapitel innerhalb der Geofibel werden Ähnlichkeiten im Entstehungsprozess – beispielsweise die gleiche Herkunft der basaltischen Schmelzen von Basalt und Gabbro – aufgezeigt und gleichzeitig Redundanzen vermieden. Teilweise dienen die Verweise – beispielsweise auf die Schemata im *ANHANG* – dazu, die beschriebenen Prozesse grafisch darzustellen. **Blau** gedruckt sind jene Fachbegriffe, deren Bedeutung im *Glossar* (→ siehe *ANHANG*) nachgelesen werden können.

4.3 Bestimmungsschlüssel für in Österreich häufig vorkommende Gesteine

1. Bausteine	Grundmasse mit ± Komponenten	Minerale/Komponenten (makroskopisch erkennbar) in einer Grundmasse			Minerale makroskopisch erkennbar			
2. Gesteinsgefüge: Struktur & Textur (Anordnung von Mineralen)	richtungslos	porphyrisch, richtungslos	kavernös-massig, richtungslos	Mineralwachstum richtungslos, ungeordnet				
3. Korngrößen, Korngrößenverteilung	mikrokristalline feinkörnige Matrix ± Phänokristen	feinkörnige Matrix + Phänokristen		mikrokristallin - feinkörnig	fein- bis mittelkörnig		fein- bis mittelkörnig, Kalifeldspat oft grobkörnig	allgemein grobkörnig
GESTEINSKLASSE & -typ	MAGMATIT Vulkanit	MAGMATIT Vulkanit	MAGMATIT Vulkanit	MAGMATIT Vulkanit	MAGMATIT Plutonit	MAGMATIT Plutonit	MAGMATIT Plutonit	MAGMATIT Plutonit
4. besondere Merkmale, relevante (gesteinsbestimmende) Minerale	Phänokristen sehr selten	Plagioklas-Leisten	grauer bis roter Quarz	± fremde Gesteinsbruchstücke, ± Glasfragmente	Plagioklas, Pyroxen	Quarz, Plagioklas, Biotit, Muskovit, Kalifeldspat selten	Quarz, Kalifeldspat (weiß oder rosa), Plagioklas, Biotit, Muskovit	Quarz, Kalifeldspat, Muskovit, Turmalin
5. Farbeindruck von frischer Bruchfläche	grau-schwarz	grau	rötlich	≥ zweifärbig	schwarz + weiß	≥ zweifärbig, Grautöne	≥ zweifärbig	hell (nur Turm. schwarz)
6. Oberfläche nach Wassertransport, herauswitternde Minerale	Phänokristen wittern heraus = Löcher	Plagioklas (weißlich)	gleichmäßig	abhängig von Komponenten	Plagioklas, Pyroxen	Quarz	Quarz	Quarz
7. Löslichkeit	Silikate sind nur in einem HCl - HNO ₃ - HF Gemisch (☞) löslich.							
Bezeichnung	Basalt	Andesit	Rhyolith	pyroklastische Ablagerung	Gabbro	Granodiorit	Granit	Pegmatit
Varietäten	6-eckige Säulen, Kissenlava, Stricklava		Bozener Quarzporphyr, Blasseneckporphyroid	Ignimbrit, Tuff				Aplit (feinkörnig)

1. Bausteine	Minerale makroskopisch erkennbar							
2. Gesteinsgefüge: Struktur & Textur (Anordnung von Mineralen)	richtungslos, schlierig	Minerale richtungslos	Minerale sind in Deformationsrichtung orientiert/eingeregelt					ausgeprägter Lagenbau
3. Korngrößen, Korngrößenverteilung	mittel - grobkörnig, verschiedene Korngrößen	gleichkörnig	mittel -bis feinkörnig	mittel -bis feinkörnig, verschiedene Korngrößen	feinkörnig	mittel -bis feinkörnig, gleichkörnig (ev. Augen)	verschiedene Korngrößen	grobspatig
GESTEINSKLASSE & -typ	METAMORPHIT	METAMORPHIT	METAMORPHIT	METAMORPHIT	METAMORPHIT	METAMORPHIT	METAMORPHIT	METAMORPHIT
4. besondere Merkmale, relevante (gesteinsbestimmende) Minerale	inhomogener Farbeindruck, Calcit-Klüfte, faseriger Serpentin	Omphazit, Granat	Plagioklas, Amphibol; massig	Glimmer in Schieferungs- flächen konzentriert; plattig/flächige r Bruch	samtig-seidig glänzend, Schieferungs- flächen wellig, oft Knickfältelung	sehr starke Mineralregelun g & Auswalzung, Feldspat- Augen	Schieferungs- flächen undeutlich, massig	± Tonlagen, Bruchfläche glänzt
5. Farbeindruck von frischer Bruchfläche	olivgrün - schwarz	dunkel grün + rot	schwarz + weiß	bunt	samtig, seidig glänzend	mehrfärbig (≥ 2)	mehrfärbig (≥ 2)	weiß - rötlich schlierig
6. Oberfläche nach Wassertransport, herauswitternde Minerale	gleichmäßig, glatt	Granat	gleichmäßig	Granat, Disthen, Staurolith	Serizit (Hellglimmer)	gleichmäßig	Quarz	gleichmäßig
7. Löslichkeit	Silikate sind nur in einem HCl - HNO ₃ - HF Gemisch (☞) löslich.							in 3%iger HCl
Bezeichnung	Serpentinit	Eklogit	Amphibolit	Glimmer- Schiefer	Phyllit	Mylonit, Ultramylonit	Gneis	Marmor
Varietäten				Hornblende- Garbenschiefer			Orthogneis: Kali-feldspat Augen; Paragneis: Al- hältige Minerale	

1. Bausteine	Minerale makrosk. erkennbar	Grundmasse mit Hohlräumen	Grundmasse ± Komponenten		Minerale/Körner makroskopisch nicht erkennbar		
2. Gesteinsgefüge: Struktur & Textur (Anordnung von Mineralen)	richtungslos	kavernös, richtungslos	Schichtung bis Bankung, ± sedimentäre Strukturen		Lagenbau (Schichten unterschiedlich mächtig)		
3. Korngrößen, Korngrößenverteilung	grobkörnig	grobspatige Minerale	fein- bis grobkörnig; von mikritisch bis sparitisch	fein- bis grobkörnig; von mikritisch bis sparitisch	feinkörnig	mikrokristallin	mikrokristallin
GESTEINSKLASSE & -typ	<i>chemisches SEDIMENT</i>	<i>chemisches SEDIMENT</i>	<i>chem. ± biog. SEDIMENT</i>	<i>chem. ± biog. SEDIMENT</i>	<i>chem./klast. SEDIMENT</i>	<i>biogenes SEDIMENT</i>	<i>biogenes SEDIMENT</i>
4. besondere Merkmale, relevante (gesteinsbestimmende) Minerale	NaCl (Halit) und KCl (Sylvin) ± Tonlagen, Haptik: seifig	Karbonat-Anteile bilden Gerüst, Gipskristalle weggelöst	± Fossilien, ± weiße Calcit-Klüfte; Haptik: mehlig glatt	± weiße sparitische Calcit-Klüfte	plattig/ flächiger Bruch	scharfkantiger Bruch; häufig Wechsellagerung mit anderen Sedimenten (Mergel, Kalk...)	radial-strahliger, scharfkantiger Bruch
5. Farbeindruck von frischer Bruchfläche	weiß, rosa, grau	gelblich	gelblich-rosa-grau Töne je nach Oxidation	grau	grau, braun, grünlich	braun, aubergine	schwarz, aubergine, oliv, braun
6. Oberfläche nach Wassertransport, herauswitternde Minerale	löslich!!!	Karbonat-Anteile treten hervor	gleichmäßig, matt	gleichmäßig, matt	gleichmäßig, seidenmatt	Rippen & Knollen, glatt poliert	gleichmäßig glatt poliert
7. Löslichkeit	in H ₂ O	CaSO ₄ wird in H ₂ O gelöst	in 3%iger HCl	in 10%iger HCl	Karbonat-Anteile in HCl	in HCl/HNO ₃ & HF Gemisch	in HCl/HNO ₃ & HF Gemisch
Bezeichnung	<i>Haselgebirge</i>	<i>Rauwacke</i>	<i>Kalk</i>	<i>Dolomit</i>	<i>Mergel</i>	<i>Hornstein</i>	<i>Radiolarit</i>
Varietäten			porös, bröselig: Leitha-Kalk-Sandstein		Lias - Fleckenmergel (auberginifarben mit dunklen Flecken)	als chem. Sediment in den Bänder-eisenerzen (Präkambrium)	in Österreich: Radiolarit (Mesozoikum), Lydit (Paläozoikum)

1. Bausteine	Mineral- oder Gesteinsbruchstücke (zementiert)			
2. Gesteinsgefüge: Struktur & Textur (Anordnung von Mineralen)	körnig, Lagenbau	eckige Bruchstücke (ungeordnet) in Matrix	gerundete Gerölle (ungeordnet) in Matrix	körnig, ohne Schichtung
3. Korngrößen, Korngrößenverteilung	einheitlich körnig (gut sortiert)	alle Korngrößen	alle Korngrößen	feinkörnig
GESTEINSKLASSE & -typ	klastisches SEDIMENT	klastisches SEDIMENT	klastisches SEDIMENT	klastisches SEDIMENT
4. besondere Merkmale, relevante (gesteinsbestimmende) Minerale	gerundete Einzelkörner (Quarz, Feldspat), ev. Muskovit			bröckelig zerfallend, vereinzelt Konkretionen
5. Farbeindruck von frischer Bruchfläche	verschiedene Farben je nach Oxidation	bunt	bunt	erdig
6. Oberfläche nach Wassertransport, herauswitternde Minerale	gleichmäßig, körnig	ungleichmäßig, abhängig von Komponenten	ungleichmäßig, abhängig von Komponenten	gleichmäßig, feinkörnig
7. Löslichkeit	in HCl/HNO ₃ & HF Gemisch	Karbonat- Anteile in HCl	Karbonat- Anteile in HCl	Karbonat- Anteile in HCl
Bezeichnung	Sandstein	Brekzie	Konglomerat	Löss
Varietäten		tektonische B. durch sprödes Zerbrechen in Scherzone = KEIN Sediment	Verrucano	

Legende:

Einteilung in Großgruppen

relevante Merkmale

untypisch für die jeweilige
Großgruppe

4.4 Gesteinssteckbriefe

4.4.1 Basalt

Gesteinsklasse: Magmatit

Gesteinstyp: Vulkanit

Geochemie: basisch (Abbildung 63 im ANHANG)

Der Basalt ist (bezüglich Geochemie) das vulkanische Äquivalent des Gabbros.

Entstehungsorte:

- * **Dehnungsstrukturen:**
 - **Mittelozeanische Rücken** = konstruktive Plattengrenzen. Die hier entstehenden Basalte bauen den oberen Teil der ozeanischen Kruste auf. (Abbildung 66 im ANHANG)
 - Intrakontinentale Rifts
- * **Subduktionszonen** = destruktive Plattengrenzen (Kap. 4.4.2 Andesit, Abbildung 67 im ANHANG)
- * **Intraplattenvulkanismus:** über **Hot-Spots**

Merkmale:

- * **massiges**, dichtes Gestein
- * mikrokristalline/ feinkörnige **Matrix** ± **Phänokristalle** (Abbildung 62 im ANHANG)
- * richtungslos
- * Färbung: dunkelgrau bis schwarz (bei Oxidation eisenhaltiger **Minerale** → bräunlich)

Mineralbestandteile:

Matrix: mikrokristallin

Phänokristalle:

- | | |
|----------------|--|
| * Orthopyroxen | $(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ |
| * Klinopyroxen | $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ |
| * Olivin | $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ |
| * Plagioklas | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |

Herkunft der Schmelzen:

Basalte entstehen aus Mantel-Teilschmelzen. Diese stammen zum Großteil aus dem oberen Mantel (**Asthenosphäre** oder low velocity zone), ein geringerer Anteil stammt aus dem untersten Mantel (**D"** oder ultralow velocity zone).

Entstehungsprozesse:

Damit der obere Mantel lokal aufschmilzt, muss es entweder zu **Druckentlastung** auf wenige Kilobar (kbar), zu **Fluid-Zusatz** oder zu Erhöhung der **Temperatur** kommen. Es sind (bei Wassersättigung der Schmelzen) Temperaturen von 1.000 – 1.250°C erforderlich (vgl. KLEIN & PHILPOTTS 2013: 196).

Je nach Bildungsbedingung weisen die Schmelzen und in der Folge die erstarrten Basalte eine leicht unterschiedliche Geochemie auf. Dieser Umstand erlaubt es, Rückschlüsse auf ihre Entstehungsgeschichte zu ziehen. (vgl. FRISCH & MESCHEDE 2013: 73) Die

Unterschiede im Chemismus lassen sich makroskopisch nur anhand der Phänokristalle erkennen.

Ausbildung/Varietäten:

Der Ort der **Extrusion** bzw. der Schmelzerstarrung ist von Bedeutung für die Ausbildung der Basalte. Die geringe Viskosität der basaltischen Schmelzen hat zur Folge, dass Lavaströme (abhängig von den Fördermengen) flache **Schildvulkane** oder **Flutbasalte** bilden. Diese können oft Flächen von hunderten Quadratkilometern bedecken, die Mächtigkeit einzelner Schichten ist allerdings auf wenige Meter begrenzt. (vgl. MARESCH et al. 2014: 140)

Beim Aufstieg der Schmelzen können Bruchstücke des Nebengesteins (**Xenolithe**) mitgerissen werden (**Abbildung 1** und **Abbildung 2**).

Subaerisch erstarrt Basalt dabei zu **sechseckigen Säulen** (**Abbildung 3**), deren Form durch die Kontraktion des Gesteins im Zuge seiner Abkühlung bedingt ist. An der Oberseite des Lavastromes (d.h. an der Grenzfläche zur Atmosphäre) erstarrt die Lava am schnellsten, während sie unterhalb noch in Bewegung ist. Dadurch bilden sich an der Oberfläche Runzeln, die auf Hawaii als Pahoehoe-Lava (zu Deutsch **Stricklava**) bezeichnet werden (**Abbildung 4**). Die etwas dickflüssigere Aa-Lava bildet hingegen brekzienartige, scharfkantige Lavabrocken aus, die typisch für die Landschaft Hawaiis sind. (vgl. MARESCH et al. 2014: 206)

Subaquatisch entstehen **Doleritgänge**. Durch den Kontakt mit dem kalten Meerwasser wird die oberste Lage der Schmelzen abgeschreckt. Es bilden sich Kissenstrukturen (**pillow-Basalte**), welche im Aufschluss rundlich bis nierenförmig erscheinen, tatsächlich aber nur den Querschnitt von Lavagängen abbilden, die sich unter Wasser wie ein Wurzelgeflecht ausbreiten. Zwischenräume zwischen diesen Gängen werden nachträglich mit **Sedimenten** oder vulkanischem Glas ausgefüllt, welches als Hyaloklastit bezeichnet wird. (vgl. MARESCH et al. 2014: 208)

Vorkommen (weltweit):

Basalt stellt das volumenmäßig wichtigste Ergussgestein auf der Erde dar. Derzeit werden an den Mittelozeanischen Rücken pro Jahr ca. 20 km^3 basaltische Schmelzen (Basalte und Gabbros) produziert. (vgl. FRISCH & MESCHEDE 2013: 67) Zahlreiche ozeanische Inseln (z.B. Hawaii) bestehen aus Basalt. Großflächige **Flutbasaltvorkommen** sind auf Schottland, Island, in Indien (Dekkan Trapps) und in Nordamerika (Columbia River Basalt) zu finden. Auch Inselbögen entlang von **Subduktionszonen** (z.B. Japan) sind teilweise aus Basalten aufgebaut (siehe dazu auch Kapitel 4.4.2 *Andesit*).

Fundorte in Österreich:

Pauliberg (Burgenland): **Pliozän**, Alkalibasalt-Vulkanismus (AUSDÜNNUNG der kontinentalen Kruste gegen Ende der **Alpidischen Gebirgsbildung**).

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Basalt wird vorwiegend als Baustoff im Straßen- und Eisenbahnbau verwendet und im Winter als Streusplitt eingesetzt. Die 6-eckigen Basaltsäulen werden gelegentlich als Uferbefestigung in Hafenanlagen eingesetzt. (vgl. MARESCH et al. 2014: 140)

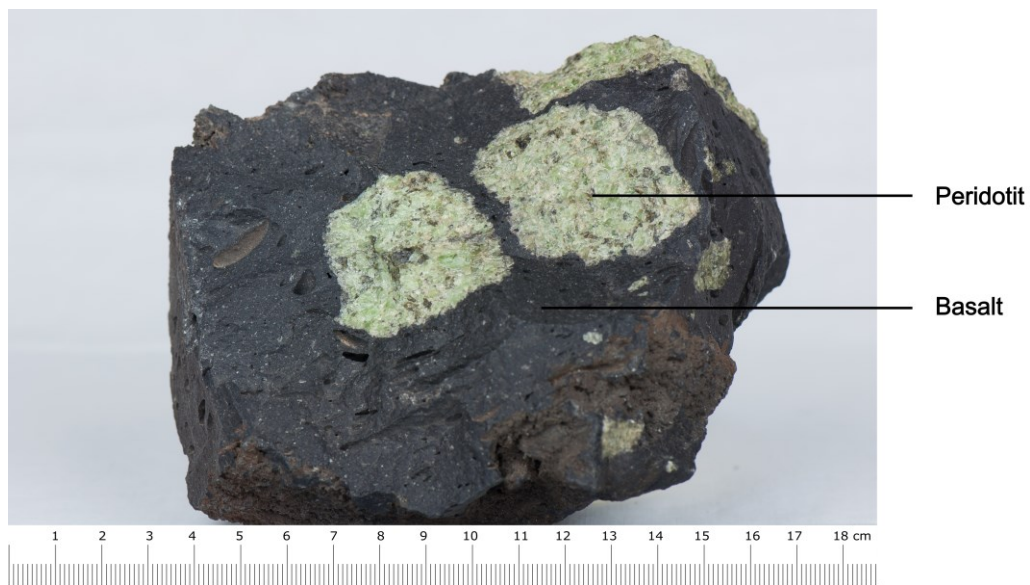


Abbildung 1: Mikrokristalliner, schwarzer Basalt mit kristallinen Olivin-reichen Mantel-Xenolithen von Peridotit, Kanarische Inseln (KORHERR 2024)

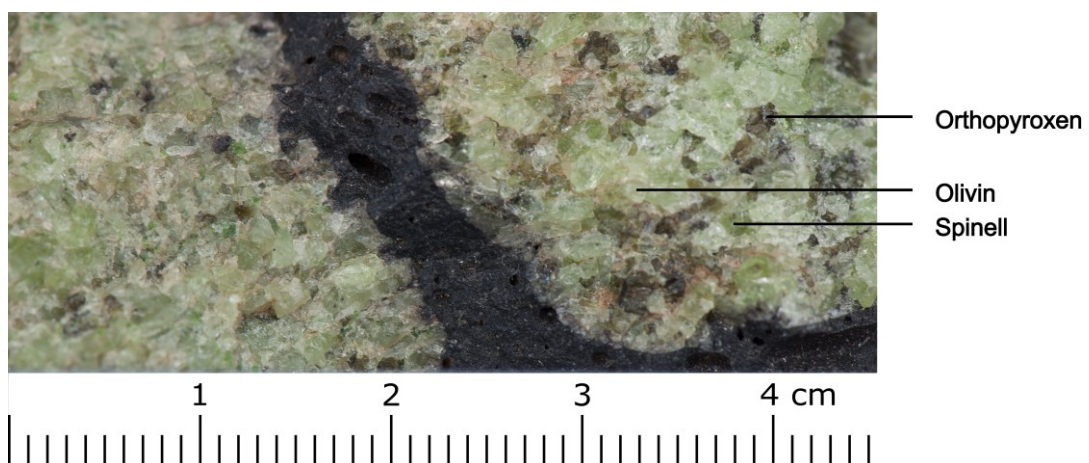


Abbildung 2: Nahaufnahme des mikrokristallinen Basalts (schwarz) und der Olivin-reichen (grünlichen) Mantel-Xenolithe, Kanarische Inseln (KORHERR 2024)



Abbildung 3: Basaltsäule, Steinberg bei Feldbach in der Steiermark (KORHERR 2024)



Abbildung 4: Stricklava, Kanarische Inseln (KORHERR 2024)

4.4.2 Andesit

Gesteinsklasse: Magmatit

Gesteinstyp: Vulkanit

Geochemie: intermediär (Abbildung 63 im ANHANG)

Entstehungsorte: Magmatische Bögen über Subduktionszonen (Abbildung 67 im ANHANG)

Merkmale:

- * massiges, dichtes Gestein
- * feinkörnige Matrix + Phänokristalle (Abbildung 62 im ANHANG)
- * richtungslos
- * Färbung: grau bis grünlich-schwarz mit weißen Plagioklas - Mineralen (Abbildung 5)

Mineralbestandteile:

Matrix: mikrokristallin bis feinkörnig

Phänokristalle:

- | | |
|--------------|---|
| * Plagioklas | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |
| * Amphibol | $\text{Ca}_2(\text{Mg}_3\text{Fe}^{3+}\text{Al})(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ |
| * Pyroxen | $(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ |
| * Quarz | SiO_2 (sehr wenig) |

Herkunft der Schmelzen:

Andesitische Schmelzen entstehen im Asthenosphären-Keil über einer Subduktionszone bzw. in der kontinentalen Kruste darüber (Abbildung 67 im ANHANG).

Entstehungsprozesse:

Erste andesitische Schmelzen entstehen durch Aufschmelzung von Teilen einer abtauchenden ozeanischen Platte und dem darüber liegenden ultrabasischen Asthenosphären-Keil. (vgl. MARESCH et al. 2014: 134) Der überwiegende Teil der andesitischen Schmelzen entsteht aber erst im Zuge des Aufstiegs von basaltischen Schmelzen durch eine kontinentale Kruste, wobei es zu weiterer Differentiation und zur Assimilation von Nebengestein kommt.

In der Folge extrudieren die andesitischen Schmelzen und bilden Insel- oder magmatische Bögen. (vgl. Maresch et al. 2014: 134)

Vorkommen (weltweit):

Andesit ist entlang von magmatischen Bögen weltweit zu finden. Seinen Namen trägt das Gestein aufgrund der Häufigkeit seines Auftretens in den südamerikanischen Anden. Europäische Vorkommen sind beispielsweise auf Sardinien zu finden. (vgl. MARESCH et al. 2014: 134)

Fundorte in Österreich:

Miozäner Vulkanismus, Südburgenland-Steiermark (Abbildung 65 im ANHANG)

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Andesit findet vornehmlich als Schotter und Splitt im Baugewerbe Verwendung, wird aber in Form von Porphyrit, mit seinen stark färbenden Sekundärmineralen, auch als Bau- und Architekturstein eingesetzt. Die Lagerstätten von Andesit stellen oftmals bedeutsame Kupfersulfidquellen dar. (vgl. MARESCH et al. 2014: 134)



Abbildung 5: Andesit mit weißen Plagioklas-Leisten, Schottland (KORHERR 2024)

4.4.3 Rhyolith

Gesteinsklasse: Magmatit

Gesteinstyp: Vulkanit

Geochemie: sauer (Abbildung 63 im ANHANG)

Entstehungsorte:

- * **Dehnungsstrukturen:**
 - Intrakontinentale Rifts
- * **Intraplattenvulkanismus:** über **Hot-Spots**
 - bimodaler Vulkanismus in kontinentaler Kruste

Merkmale:

- * massiges, dichtes Gestein
- * feinkörnige Matrix + viele Phänokristalle (Abbildung 62 im ANHANG)
- * richtungslos
- * helles Vulkangestein, dessen Färbung durch Begleitminerale [Hämatit (rot) oder Goethit (violett)] bestimmt ist

Mineralbestandteile:

Matrix: glasig bis mikrokristallin

Phänokristalle:

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| * Quarz | SiO_2 |
| * Alkalifeldspat | KAlSi_3O_8 |
| * Plagioklas | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ |

Herkunft der Schmelzen:

kontinentale Kruste, sehr untergeordnet auch durch Differentiation von basischen Schmelzen

Entstehungsprozesse:

Kontinentale Kruste schmilzt aufgrund erhöhter Temperaturen bedingt durch aufsteigendes Mantelmaterial. Dazu kann es im Zuge der Ausdünnung von kontinentaler Kruste kommen oder durch den Aufstieg eines Manteldiapirs (Hot-Spot) unter kontinentaler Kruste. Aufgrund der hohen Viskosität von sauren Schmelzen werden Rhyolithe bei explosivem Vulkanismus ausgeworfen oder bleiben als Subvulkanite in der Kruste stecken. Dadurch wird die Anzahl der Phänokristalle erhöht. Die Temperatur-Bedingungen liegen bei ca. 650-750°C. (vgl. BAHLBURG & BREITKREUZ 2017: 295, 303)

Bei der Förderung von basischen Schmelzen kann eine Differentiation in der Magmenkammer zur Bildung von wenigen Prozent saurer Schmelze führen. Beispiele hierfür sind auf Island und den Kanarischen Inseln zu finden.

Vorkommen (weltweit):

Bekannte Rhyolithvorkommen sind zum Beispiel in den Rocky Mountains in Nordamerika, aber auch auf Island zu finden.

Fundorte in Österreich & Mitteleuropa:

- Bozener Quarzporphyr: Südtirol, [Perm](#), ca. 280 Mio. Jahre, Kaldera am Beginn des [Perms](#) in einem kontinentalen Rift gebildet (**Abbildung 6** und **Abbildung 7**)
- Blasseneckporphyroid: Grauwackenzone, [Ordovizium](#).

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Rhyolith findet aufgrund seiner Widerstandsfähigkeit häufige Verwendung als Baustoff, etwa für Pflastersteine. Durch die Attraktivität des Gesteins wird es auch gerne als Zierstein für Fliesen und Platten verwendet.



Abbildung 6: Bozener Quarzporphyr, Südtirol (KORHERR 2024)

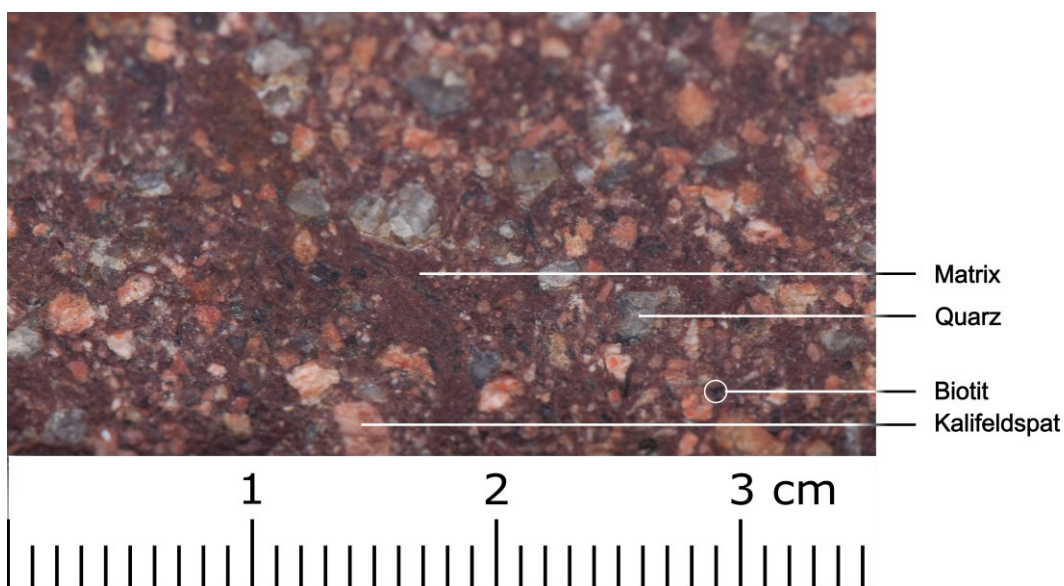


Abbildung 7: Nahaufnahme der mikrokristallinen Matrix (rot-braun) und der gut erkennbaren Phänokristalle des Bozener Quarzporphyr, Südtirol (KORHERR 2024)

4.4.4 Pyroklastische Ablagerungen (Ignimbrit & Tuff)

Gesteinsklasse: **Magmatit** (wird aufgrund der schichtigen Ablagerung nach der Eruption manchmal den **Sedimenten** zugeordnet)

Gesteinstyp: **Vulkanit**

Geochemie: **sauer** (auch **intermediär** möglich) (**Abbildung 63** im ANHANG)

Entstehungsorte:

- * **Subduktionszonen** = destruktive Plattengrenzen (**Abbildung 67** im ANHANG)
- * **Dehnungsstrukturen:** Intrakontinentale Rifts
- * **Intraplattenvulkanismus:** **kontinentale Kruste** über einem **Hot-Spot**

Merkmale:

- * **kavernöses** bis **massiges** Gestein
- * mikrokristallin bis feinkörnig (**Abbildung 62** im ANHANG)
- * richtungslos
- * ± fremde Gesteinsbruchstücke & ± Glasfragmente
- * helles Vulkangestein, zwei- oder mehrfärbig

Mineralbestandteile:

Matrix: **glasig** bis mikrokristallin

Phänokristalle:

- | | |
|------------------|--|
| * Quarz | SiO_2 |
| * Alkalifeldspat | KAlSi_3O_8 |
| * Plagioklas | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ |
| * Amphibol | $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}_4\text{Al})(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ |
| * Pyroxen | $(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ |

Ausgangsmaterial:

Vulkanisches Lockermaterial (Tephra), das bei explosiven Vulkanausbrüchen gefördert wird.

Tephra wird entsprechend ihrer **Korngröße** in Feinasche (<0,63mm), Grobasche (0,63-2mm), Lapilli (2-64mm) und Bomben bzw. Blöcke (> 64 mm) unterteilt. Die einzelnen Komponenten werden als Pyroklasten bezeichnet. (vgl. MARESCH et al. 2014: 206f.)

Entstehungsprozesse:

Das ausgeworfene Lockermaterial wird abgelagert und verfestigt.

Wenn sich die Pyroklasten verfestigen, gliedert man die so entstandenen vulkanischen Gesteine (Pyroklastika) entsprechend der **Korngröße** ihrer Komponenten. (vgl. MARESCH et al. 2014: 206f.)

Ausbildung/Varietäten:

Tuff besteht aus verfestigter Asche (Partikelgröße <2mm) von vulkanischen Eruptionen. Er ist meist gut sortiert und enthält nur wenige **Phänokristalle**. (vgl. MARESCH et al. 2014: 212) Er ist ein mikrokristallines bis feinkörniges, homogenes Gestein mit einer grau-grünlichen Färbung, das sich manchmal nur schwer von anderen feinkörnigen Gesteinen

wie Tonstein oder Mergel unterscheiden lässt. Ein sicheres Unterscheidungsmerkmal sind allerdings die Fragmente vulkanischen Glases sowie die oft enthaltenen Gesteinsbruchstücke. (vgl. MARESCH et al. 2014: 214)

Ignimbrit bildet sich aus den Ablagerungen von pyroklastischen Strömen (Glutwolkenablagerung). Dies führt zu einem inhomogenen Gefüge von feinkörniger, gläserner **Matrix** und chaotisch angeordneten Gesteinsbruchstücken, die durch die hohen Temperaturen geradezu „verschweißt“ werden. (vgl. MARESCH et al. 2014: 206f.) Oftmals ist eine Paralleltexur erkennbar, die durch flachgedrückte Glasfetzen, die sogenannten **Fiamme**, bedingt ist und sich durch die Fließrichtung des heißen Materials ausbildet (**Abbildung 8** und **Abbildung 9**). (vgl. MARESCH et al. 2014: 214)

Vorkommen (weltweit):

Tuff- und Ignimbritvorkommen sind weltweit an vulkanisch aktiven Zonen zu finden.

Fundorte in Europa:

Eifel, Deutschland-Belgien
Kaiserstuhl, Deutschland
Egergraben, Tschechien
Zentralmassiv, Frankreich
Vesuv, Ätna, Stromboli, Vulkano, Italien
....

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Tuff ist ein beliebter Bau- und Zierstein, der als Mauerstein im Gartenbau, für Fassadenverkleidungen, aber auch als Werkstein für Bildhauer Verwendung findet.

Ignimbrit wird aufgrund seiner Färbung gerne als Rohstoff für Arbeitsplatten, Bodenbeläge und Wandverkleidungen herangezogen, sowie als Baustoff im Straßenbau eingesetzt.

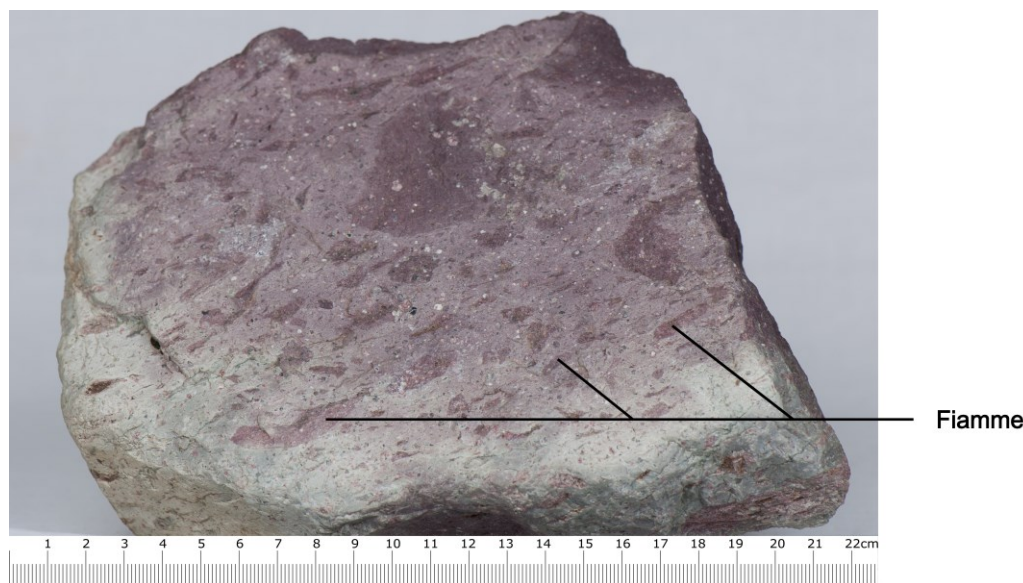


Abbildung 8: Ignimbrit mit *Fiamme*, welche die einstige Fließrichtung des Materials widerspiegeln. Der helle Bereich am unteren Bildrand ist durch Verwitterung verändert, Südtirol (KORHERR 2024)

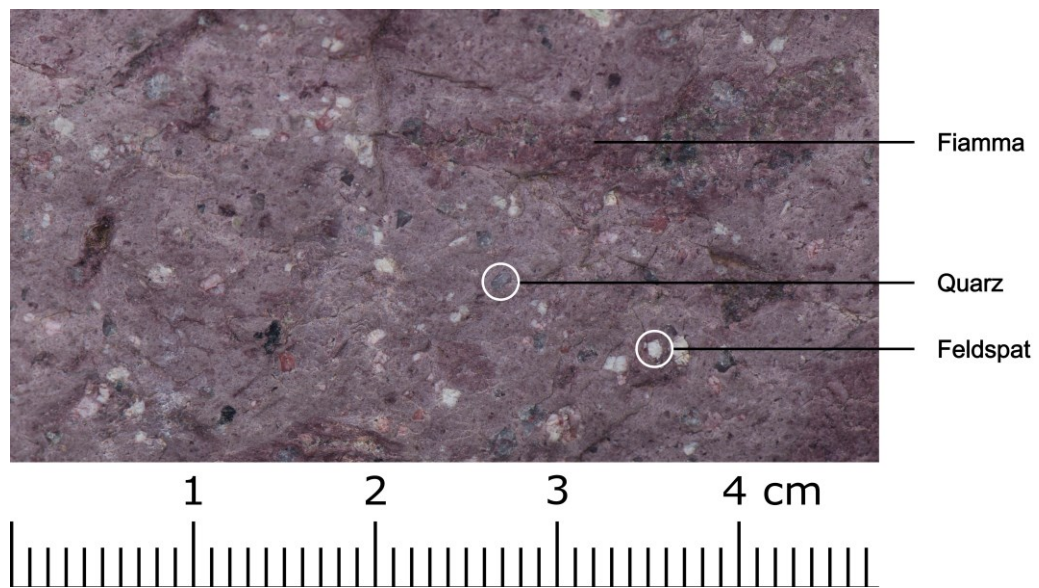


Abbildung 9: Nahaufnahme der mikrokristallinen Matrix (rötlich) sowie der Phänokristalle eines Ignimbrits, Südtirol (KORHERR 2024)

4.4.5 Gabbro

Gesteinsklasse: Magmatit

Gesteinstyp: Plutonit

Geochemie: basisch (Abbildung 63 im ANHANG)

Er ist das Intrusivgesteins-Äquivalent zum Basalt.

Entstehungsorte:

- * **Dehnungsstrukturen:**
 - Intrakontinentale Rifts
 - Mittelozeanische Rücken (Abbildung 66 im ANHANG): Die hier kristallisierenden Gabbros bauen den unteren Teil der **ozeanischen Kruste** auf.
- * **Subduktionszonen** (Abbildung 67 im ANHANG)
- * **Intraplattenvulkanismus:** über **Hot-Spots**

Merkmale:

- * **massig**es, dichtes Gestein
- * fein- bis mittelkörnig (Abbildung 62 im ANHANG)
- * richtungslos
- * Färbung: hell- bis dunkelgrau mit deutlich erkennbaren Plagioklas- und Pyroxenmineralen (Abbildung 11)

Mineralbestandteile:

- | | |
|---------------------------------|--|
| * Plagioklas | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 < \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |
| * Orthopyroxen | $(\text{Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ |
| * Klinopyroxen | $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ |
| * \pm Biotit, Titanit, Olivin | |

Herkunft der Schmelzen:

→ siehe Kap. 4.4.1 *Basalt*

Entstehungsprozesse:

→ siehe Kap. 4.4.1 *Basalt*

Im Gegensatz zu den vulkanischen/extrusiven Basalten sind Gabbros plutonische Gesteine, d.h. sie kristallisieren in der **ozeanischen Kruste** aus und bilden damit den ca. 4-5 km mächtigen Unterbau für die extrudierenden Basalte. (vgl. FRISCH & MESCHEDE 2013: 69)

Eine Besonderheit sind dabei geringe Mengen an hochdifferenzierten (**sauren**) **Restschmelzen** im Dachbereich der **Magmenkammern**, die als *Plagiogranite* auskristallisieren. Geochemisch entsprechen diese allerdings nicht Graniten sondern Tonaliten. (vgl. FRISCH & MESCHEDE 2013: 71ff.)

Auch an der Basis der kontinentalen Kruste können Gabbros angelagert werden. Diese stammen aus Aufschmelzungen des **Mantelkeils** über einer subduzierenden Platte. Die **basischen** Schmelzen steigen bis an die **MOHO** auf und kristallisieren in der **untersten kontinentalen Kruste** aus.

Ausbildung/Varietäten:

Gelegentlich ist eine Bänderung erkennbar, wenn die Plagioklase eine Paralleltexur aufweisen, die **Korngrößen** rhythmisch wechseln oder die im Zuge der Abkühlung entstehenden Zwischenräume durch frisches **Magma** gefüllt werden. Diese Prozesse führen zur Entstehung der sogenannten **Lagengabbros**. (vgl. MARESCH et al. 2014: 94)

Vorkommen (weltweit):

Insbesondere der Bushveld-Komplex in Südafrika und die Skaergaard-**Intrusion** auf Grönland zählen weltweit zu den größeren Vorkommen (vgl. MARESCH et al. 2014: 96). Ivrea Zone, Italien-Schweiz (**Abbildung 10**)

Fundorte in Österreich:

Pfaffengrat, Stubai Alpen, **Intrusion** in die Unterkruste um ca. 455 Ma (vgl. KLÖTZLI et al. 2008: 54f.).

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Praktischer Nutzen vorwiegend als Baustoff in Form von **Schotter** im Bereich des Straßen- und Gleisbaus (vgl. MARESCH et al. 2014: 96).



Abbildung 10: Pegmatoider (grobkörniger) Gabbro (links) und feinkörniger Gabbro (rechts), Anzola - Italien (KORHERR 2024)

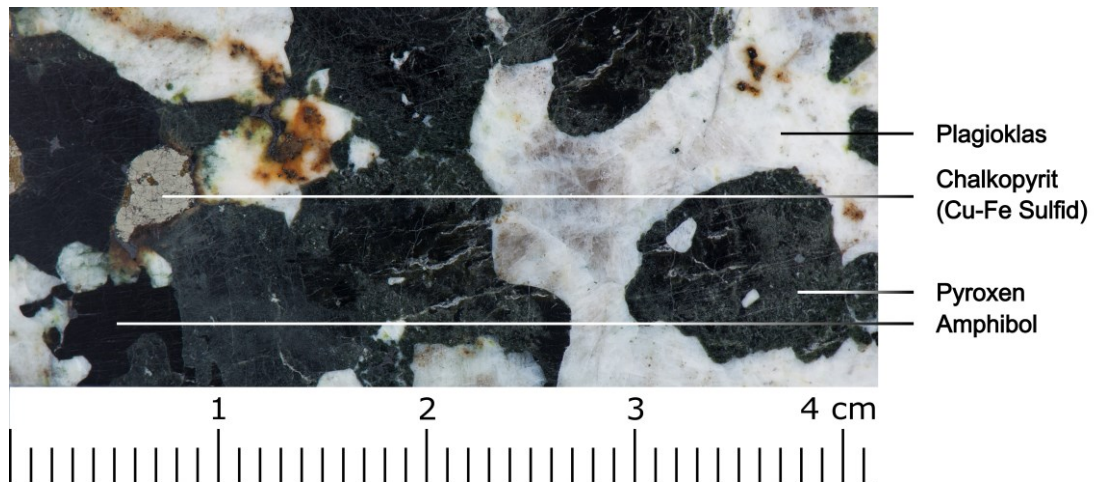


Abbildung 11: Nahaufnahme eines Gabbros (polierte Fläche), Anzola - Italien (KORHERR 2024)

4.4.6 Granit

Gesteinsklasse: Magmatit

Gesteinstyp: Plutonit

Geochemie: sauer (Abbildung 63 im ANHANG)

Entstehungsorte: Orogene

Merkmale:

- * massiges, kompaktes Gestein
- * Gefüge sehr variabel: fein- bis grobkörnig, oft gleichkörnig, manchmal jedoch mit großen Alkalifeldspat-Blasten (Abbildung 62 im ANHANG)
- * richtungslos
- * Färbung: hellgrau, rosa, gelblich und zuweilen grünlich

Mineralbestandteile:

- | | |
|----------------------|--|
| * Quarz | SiO_2 |
| * Alkalifeldspat | KAlSi_3O_8 |
| * Plagioklas | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |
| * Biotit | $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})_3[(\text{OH}, \text{F})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}^{3+}) \text{Si}_3\text{O}_{10}]$ |
| * Muskovit (möglich) | $\text{KAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ |

Herkunft der Schmelzen:

untere kontinentale Kruste

Entstehungsprozesse:

Granite zählen mit einem Volumenanteil von etwa 44% zu den häufigsten plutonischen Gesteinen der unteren bis mittleren kontinentalen Kruste. Sie entstehen durch großräumige Aufschmelzung von kontinentaler Kruste im Anschluss an eine Kontinent-Kontinent-Kollision. Die Wärmezufuhr aus der aufsteigenden Asthenosphäre nach dem Abriss der subduzierten ozeanischen Lithosphärenplatte ist der Motor für diesen Prozess. Nach wie vor umstritten sind die Aufstiegsprozesse der SiO_2 reichen, zähen granitischen Magmen und deren Platznahme im vorhandenen Krustengestein. Die Dichte der granitischen Schmelzen ist mit $2,4 \text{ g/cm}^3$ (vgl. KLEIN & PHILPOTTS 2013: 222) geringer als die der sie umgebenden kontinentalen Kruste, weshalb die Schmelzen aufsteigen können. Im Bereich der duktilen unteren Kruste kann dieser Vorgang wohl diapirisch erfolgen. Die granitischen Schmelzen können dabei Teile der Deckschichten loslösen und deren Platz einnehmen, während die aufgenommenen Blöcke (Xenolithe) aufgrund ihrer höheren Dichte absinken. Ein weiterer Aufstieg geschieht entlang von Störungssystemen. Je nach Form und Größe der Intrusionen spricht man bei großen Plutonen von Batholiten, bei kleineren Formen von Stöcken, Gängen und Lakkolithen (vgl. BAHLBURG & BREITKREUZ 2017: 303f.)

Die meisten Granite besitzen ein Kluftsystem, das sich im Zuge der Abkühlung, aufgrund des Volumenverlustes des Gesteins, ausbildet und spätere Verwitterung begünstigt. Ein typisches Beispiel stellt die Wollsackverwitterung dar (→ Wackelsteine im Waldviertel). Früher ging man davon aus, dass die Geschwindigkeit des Aufstiegs und der Platznahme ein Vorgang von mehreren Millionen Jahren sei. Neue Erkenntnisse legen aber nahe, dass selbst die Entstehung der großen Batholithe Nord- und Südamerikas in weniger als 100.000 Jahren erfolgt sein könnte. (vgl. MARESCH et al. 2014: 78)

Ausbildung/Varietäten:

Die bekanntesten Granit-Varietäten in Österreich stammen aus der variszischen **Orogenese**:

Der **grobkörnige Weinsberger** Granit ist vor ca. 345 Mio. Jahren im **Karbon** entstanden. Charakteristisch für ihn sind die großen Alkalifeldspäte.

Der feinkörnige **Mauthausener** Granit verdankt seinen Namen seinem Abbau im Ort Mauthausen in Oberösterreich.

Der **Eisgarner** Granit ist ein Zweiglimmergranit und der jüngste Vertreter der Granite des **Moldanubikums** (vgl. OBERHAUSER et al. 1980: 134).

Vorkommen (weltweit):

Die großen weltweiten Granitvorkommen sind das Produkt von verschiedenen Gebirgsbildungsprozessen in der Erdgeschichte. Ein Großteil Skandinaviens ist das Ergebnis archaischer und proterozoischer **Orogenesen**. Die Kaledoniden in Norwegen und in Schottland stammen aus dem **Altpaläozoikum**. Die Granite des **Moldanubikums** (Schwarzwald, Wald- und Mühlviertel) sind das Produkt der variszischen **Orogenese** des **Jungpaläozoikums**. Die jüngsten Granite sind jene der **alpidischen Orogenese**, die im **Mesozoikum** begann (z.B. Bessell -, Adamello -, Biella -, Rieserferner -, Pohorje- Granit).

Fundorte in Österreich:

Ostalpines Kristallin: Ordovizischer Granit im Ötztal - Kristallin (**Abbildung 12** und **Abbildung 13**)

Moldanubikum: Nördliches Ober- und Niederösterreich (Mühl- und Waldviertel)

Moravikum: Nördliches Niederösterreich (Waldviertel) (**Abbildung 14** und **Abbildung 15**)

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Granit ist ein wichtiger Rohstoff, der vor allem aufgrund seiner Härte, Robustheit und Langlebigkeit geschätzt wird. Er findet daher als Baustoff für Pflasterungen Verwendung, wird aber auch von Steinmetzen für Denkmäler, Grabsteine und Arbeitsplatten gerne herangezogen.



Abbildung 12: Granit, Antholz - Südtirol (KORHERR 2024)

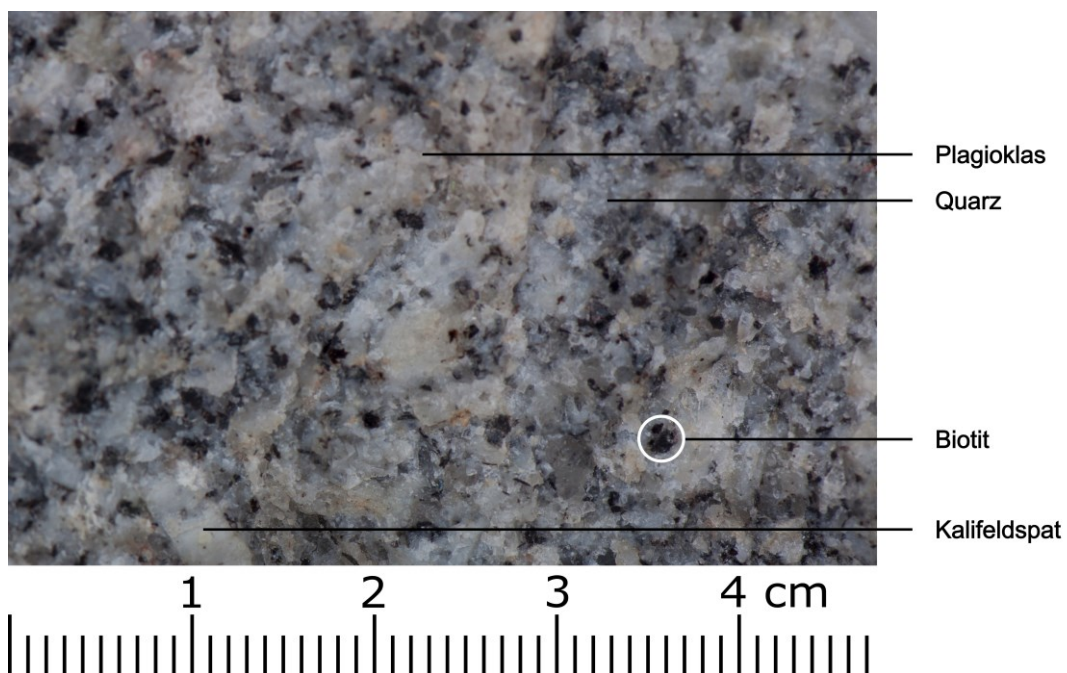


Abbildung 13: Nahaufnahme Granit, Antholz - Südtirol (KORHERR 2024)



Abbildung 14: Granit, Maissau - Niederösterreich (KORHERR 2024)

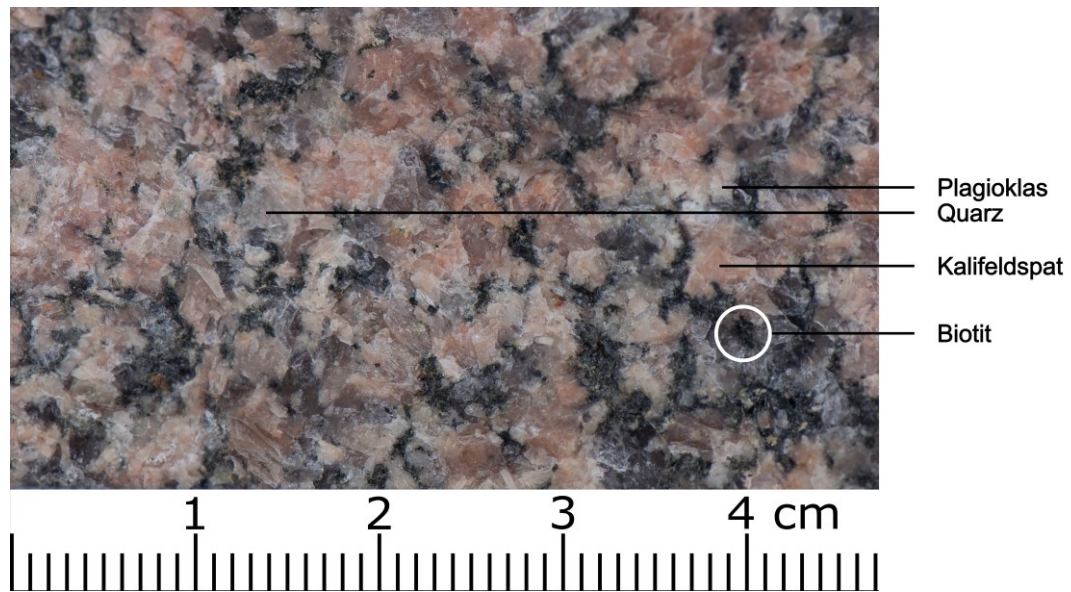


Abbildung 15: Nahaufnahme Granit, Maissau - Niederösterreich (KORHERR 2024)

4.4.7 Pegmatit

Gesteinsklasse: Magmatit

Gesteinstyp: Plutonit

Geochemie: sauer (Abbildung 63 im ANHANG)

Er ist die grobkörnige Restschmelze von Granitoiden.

Entstehungsorte: Orogene

Merkmale:

- * massiges Gestein
- * grob- bis riesenkörnig (Abbildung 16)
- * richtungslos
- * Färbung: sehr hell bis weiß (mit Ausnahme der bunten Turmaline)
- * makroskopisch klar erkennbare Minerale

Mineralbestandteile:

- | | |
|------------------|--|
| * Quarz | SiO_2 |
| * Alkalifeldspat | KAlSi_3O_8 |
| * Plagioklas | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ |
| * Muskovit | $\text{KAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ |
| * Turmalin, ... | |

Herkunft der Schmelzen:

kontinentale Kruste, nach einer Kontinent-Kontinent-Kollision

Entstehungsprozess:

→ siehe Kap.4.4.6 Granit

Pegmatite entstehen aus höchstdifferenzierten, wasserreichen Restschmelzen, die mit inkompatiblen Elementen angereichert sind, weil diese bis zuletzt in der sich immer weiter differenzierenden Schmelze verbleiben. Dadurch kommt es zu einer Anhäufung seltener Elemente wie zum Beispiel Lithium, Beryllium, Bor und Niob, weshalb Pegmatite als Lagerstätten wirtschaftlich interessant sind. (vgl. MARESCH et al. 2014: 110-112)

Ausbildung/Varietäten:

Das Vorkommen von Pegmatiten ist zumeist an die Dachbereiche von größeren Intrusionskörpern gebunden. Die Formen von Pegmatitkörpern sind sehr vielfältig und können als Gänge, Linsen, Schläuche, Stöcke und Kuppeln vorliegen. (vgl. MARESCH et al. 2014: 112)

Fundorte in Österreich:

Weinebene-Glasshütten auf der Koralpe (Spodumen-Abbau)

Moldanubikum, Pfahl - Störung (Rohrbach in Oberösterreich)

Südliches Ötztalkristallin, Schnalstal - Pfitschtal

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Pegmatite sind wichtige Rohstofflieferanten sowohl für die Elektro- und Porzellan- als auch für die Schmuckindustrie. Zu den für die Industrie interessanten Mineralen gehören Alkalifeldspat, welcher für die Herstellung von Porzellan benötigt wird, Glimmer, die für die Herstellung von Kondensatorenmaterial Verwendung finden und diverse Lithiumminerale, für die Herstellung des technisch wichtigen Leichtmetalls Lithium.

Zudem können aus Pegmatiten reine, durchsichtige Quarze für optische Einsatzzwecke gewonnen werden. Für die Schmuckindustrie werden Beryll, Turmalin, Topas, Rosenquarz usw. in Edelsteinqualität bereitgestellt. (vgl. MARESCH et al. 2014: 114)

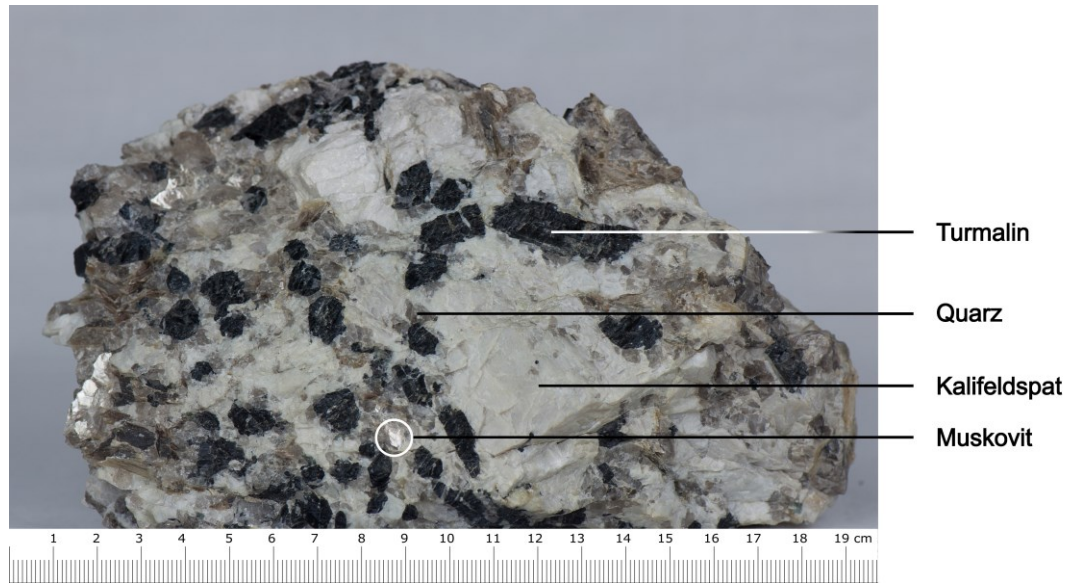


Abbildung 16: Pegmatit, Himalaya (KORHERR 2024)

4.4.8 Serpentin

Gesteinsklasse: Metamorphit

Metamorphosetyp: Ozeanbodenmetamorphose /Metasomatose

Metamorphose-Fazies: Subgrünschiefer- bis Grünschieferfazies bei geringen Drucken (Abbildung 64 im ANHANG)

Entstehungsorte:

- * **Mittelozeanische Rücken** = konstruktive Plattengrenzen (Abbildung 66 im ANHANG)
- * **Subduktionszonen** = destruktive Plattengrenzen (Abbildung 67 im ANHANG)

Merkmale:

- * **massig**, dicht, eventuell geschiefert
- * mittel- bis **grobkörnig**
- * manchmal faseriges Gefüge
- * Färbung: inhomogener Farbeindruck, olivgrünes bis grauschwarzes Gestein (Abbildung 17 und Abbildung 18)

Mineralbestandteile:

Serpentin - Minerale:

- * Chrysotil $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ bzw. $\text{Mg}_6[(\text{OH})_8|\text{Si}_4\text{O}_{10}]$
- * Antigorit $\text{Mg}_6[(\text{OH})_8|\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ bzw. $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_6[(\text{OH})_8|\text{Si}_4\text{O}_{10}]$

Relikte:

- * Pyroxen $(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ in Umwandlung begriffen
- * Amphibol $\text{Ca}_2(\text{Mg}_3\text{Fe}^{3+}\text{Al})(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Die Serpentin - **Minerale** Chrysotil (Faserseerpentin) und Antigorit (Blätterseerpentin) sind Umwandlungsprodukte aus Olivin und weisen, wie es der Name vermuten lässt, eine unterschiedliche Struktur auf. Während Chrysotil in Form von hohlen Röhren kristallisiert und als faserige Asbestgänge im Gestein anzutreffen ist, hat Antigorit eine eher blättrige Struktur und tritt erst bei höheren Metamorphosegraden der Grünschieferfazies auf. (vgl. MARESCH et al. 2014: 266)

Ausgangsgesteine:

ultrabasische Peridotite

retrograd aus Eklogiten und Amphiboliten

Entstehungsprozesse:

Serpentin entsteht an den Mittelozeanischen Rücken. Meerwasser kommt an diesen Stellen durch Klüfte oder durch Verkipfung von Krustenblöcken direkt mit den Ultrabasiten des Lithosphärischen Mantels in Kontakt. Bereits bei Temperaturen ab ca. 100°C, d.h. bei Temperaturbedingungen, die der Metasomatose oder Ozeanboden-Metamorphose entsprechen, können diese Reaktionen ablaufen.

Auch beim Eintritt einer ozeanischen **Lithosphäre** in eine **Subduktionszone** kommt es zu verstärkter Klüftung, womit ein Meerwasser-Kontakt mit Peridotit begünstigt wird. Bei Fortschreiten der **Subduktion**, je nach Druck bei 550 – 700°C (vgl. MARESCH et al. 2014: 266) brechen die Serpentin-**Minerale** zusammen und geben ihre OH-Gruppen wieder ab,

wodurch in den **Subduktionszonen** ab ca. 100 km Tiefe weitere Erdbeben ausgelöst werden (vgl. FRISCH & MESCHÉDE 2013: 114).

Ausbildung/Varietäten:

Faserserpentin

Vorkommen (weltweit):

wie Eklogite

Aosta Tal, Italien

Fundorte in Österreich:

Matreier Schuppenzone, Bernstein/Burgenland,
Enzgerboden im Stubachtal

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Serpentinit wird in Form von Platten als Bodenbelag eingesetzt (z.B. am Hauptbahnhof in Wien) und auch für Grabeinfassungen und -steine genutzt.

Weiters wird Chrysotil, aufgrund seiner hohlen Struktur und seiner isolierenden Eigenschaften, in Form von Asbest, als feuerfestes Baumaterial, *sowie Isolationsmittel in der Wärme- und Kältetechnik* (vgl. MARESCH et al. 2014: 266) eingesetzt. Da das Einatmen von Asbestfasern aber schwere Lungenerkrankungen (Fibrose) hervorrufen kann, geriet Asbest in Verruf, weshalb der Einsatz und die Verarbeitung eingeschränkt wurden (vgl. MARESCH et al. 2014: 266).

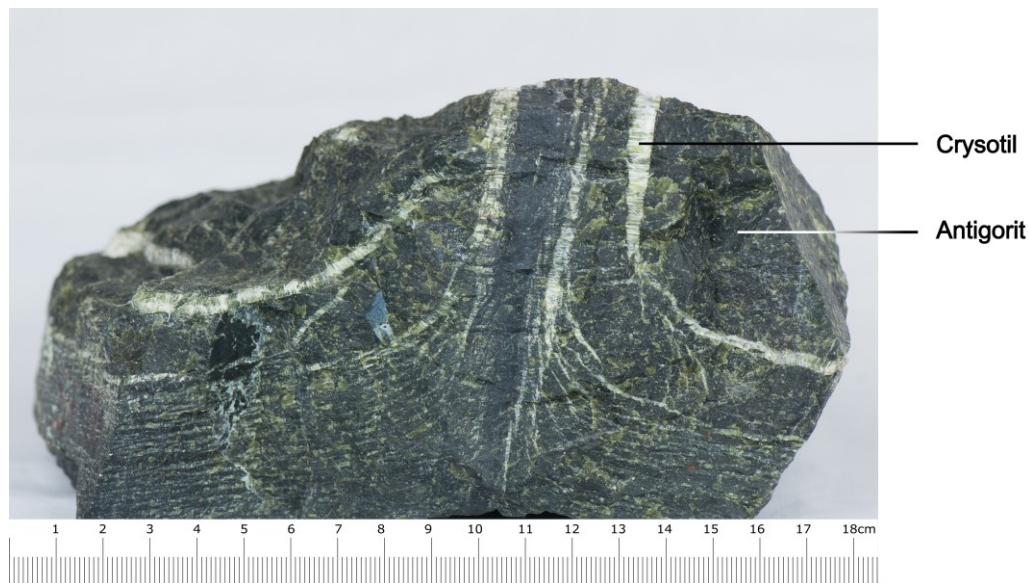


Abbildung 17: Serpentinit, Ivrea-Zone - Italien (KORHERR 2024)

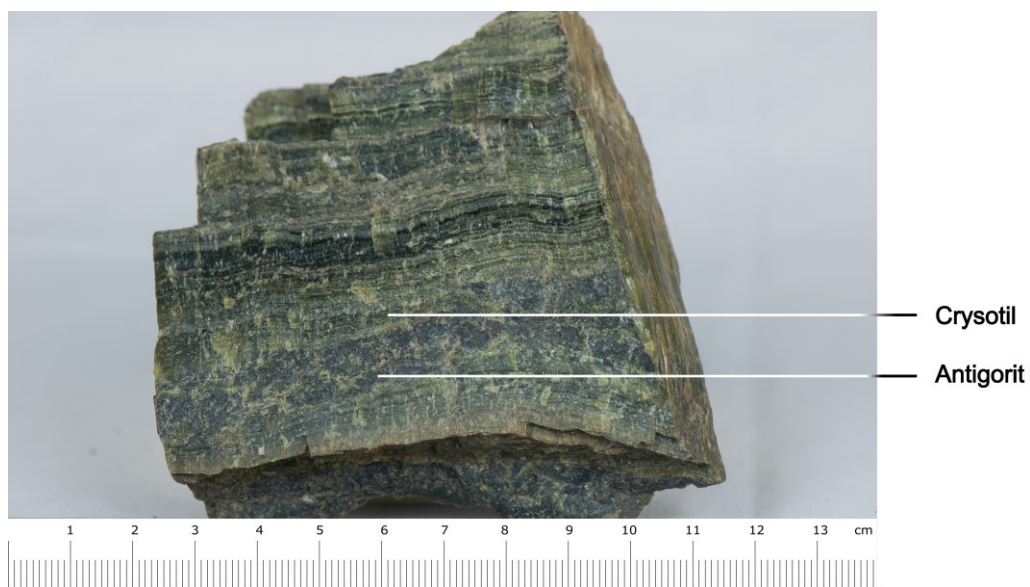


Abbildung 18: Serpentinit, Piz Mundin - Schweiz (KORHERR 2024)

4.4.9 Eklogit

Gesteinsklasse: Metamorphit

Metamorphosetyp: Hochdruckmetamorphose

Metamorphose-Fazies: Eklogitfazies (Abbildung 64 im ANHANG)

Entstehungsort: Subduktionszonen = destruktive Plattengrenzen (Abbildung 67 im ANHANG)

Merkmale:

- * massig, dichtes Gestein
- * gleichkörnig, dabei fein bis grobkörnig
- * meist richtungslos (**Achtung: untypisch für metamorphe Gesteine!**) (Abbildung 19)
- * Färbung: dunkelgrün (Omphazit) + rot (Granat)

Mineralbestandteile:

- * Granat $(\text{Mg, Fe, Mn})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
- * Omphazit $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ (gehört zur Pyroxen-Gruppe)

Ausgangsgestein:

basische Magmatite der ozeanischen Kruste (→ siehe Kap. 4.4.1 Basalt und Kap. 4.4.5 Gabbro)

Entstehungsprozess:

Voraussetzung für die Entstehung von Eklogiten sind hohe Drucke ab 13 kbar, die erreicht werden, wenn eine ozeanische Lithosphäre in einer Subduktionszone abtaucht (vgl. OBERHÄNSLI & GOFFE 2004:117). Eklogite sind daher typische Gesteine der Hochdruckmetamorphose und bis in den oberen Erdmantel bekannt.

Der dabei durchlaufene Temperaturbereich reicht von 450 bis ca. 750°C (vgl. OBERHÄNSLI & GOFFE 2004:117). Der Faktor Temperatur spielt aber bei der Hochdruckmetamorphose eine untergeordnete Rolle, der sich nur in der Zusammensetzung der Mischkristalle widerspiegelt.

Vorkommen (weltweit):

Eklogite sind in alten Suturen zwischen zwei Krustenblöcken zu finden. Nach der vollständigen Subduktion der ozeanischen Kruste werden Späne/Schuppen/Linsen von Eklogiten bei der Kontinent-Kontinent-Kollision hochgeschürft und markieren so die Naht zwischen den ehemals getrennten Kontinenten.

Fundorte in Österreich:

Kor- und Saualpe, Ötztaler Metabasit-Zug
Eklogitzone im Tauern Fenster

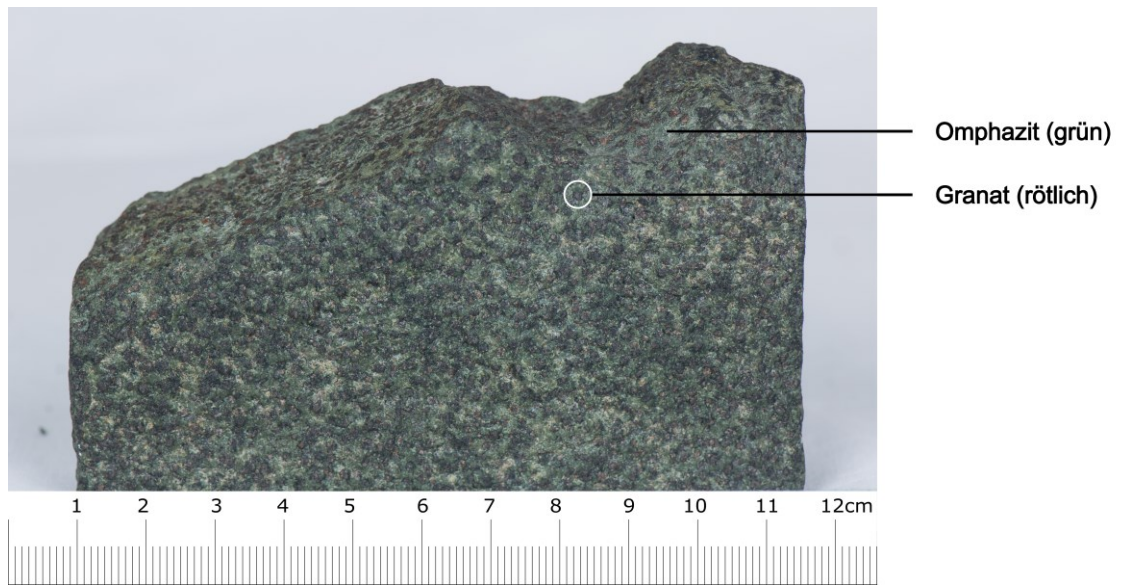


Abbildung 19: Eklogit, Norwegen (KORHERR 2024)

4.4.10 Amphibolit

Gesteinsklasse: Metamorphit

Metamorphosetyp: pro- und retrograde Art der Hochdruckmetamorphose, Regionalmetamorphose

Metamorphose-Fazies: Amphibolitfazies (Abbildung 64 im ANHANG)

Entstehungsorte: Subduktionszonen = destruktive Plattengrenzen (Abbildung 67 im ANHANG)

Merkmale:

- * massig, dichtes Gestein
- * in Schieferungsflächen eingeregelter Minerale
- * mittel- bis feinkörnig
- * Färbung: schwarz- weiß

Mineralbestandteile:

- | | |
|---|---|
| * Ca-Amphibol ("Hornblende") z.B. Tschermakit | $\text{Ca}_2(\text{Mg}_3\text{Al}_2)(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ |
| * Plagioklas | $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |
| * Granat (selten) | $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mn})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ |
| * Epidot | $\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Al})\text{Al}_2[\text{SiO}_4\text{OOHSi}_2\text{O}_7]$ |
| * Pyroxen | $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ |

Amphibolit ist ein Gestein, welches hauptsächlich aus Amphibol (mehr als 30 % vol) und Plagioklas bestehen muss (vgl. MARESCH et al. 2014: 282).

Ausgangsgesteine:

- * Basalt, Gabbro
- * selten Sedimente: Tonalit, Mergel

Entstehungsprozesse:

Amphibolite entstehen bei prograder Metamorphose durch die Subduktion ozeanischer Kruste, aus basischen Intrusionen der kontinentalen Kruste und in seltenen Fällen aus Mergeln. Bei fortschreitender, druckbetonter Metamorphose werden sie weiter in Eklogite umgewandelt.

Im Zuge von Überschiebungs- und Hebungsprozessen können Späne der subduzierten ozeanischen Lithosphäre hochgeschürft werden. Diese unterliegen in der Folge einer retrograden Metamorphose, die wieder die Amphibolitfazies passiert und bis zurück in die Grünschieferfazies reicht. Die Entstehung des Minerals Epidot ist dabei häufig (Abbildung 20). (vgl. MARESCH et al., 2014: 282).

Die Temperatur- und Druckbedingungen der Amphibolitfazies liegen zwischen ca. 500 bis 650°C und 5 bis 13 kbar (vgl. OBERHÄNSLI & GOFFE 2004:117).

Ausbildung/Varietäten:

Ein Großteil der Amphibolite hat ein gebändertes Aussehen, welches an einen Gneis erinnert und auf den Wechsel von Plagioklas (hell) und Amphibol (dunkel) zurückzuführen ist (Abbildung 21).

Fundorte in Österreich:

Metabasit-Zug im Ötztal-Stubai-Kristallin
 Glockner Deckenkomplex, Tauernfenster, Hohe Tauern
 Rehberg Amphibolit, Moldanubikum, NÖ

...

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Praktischer Nutzen vorwiegend als Baustoff in Form von Schotter im Bereich des Straßen- und Gleisbaus (vgl. MARESCH et al. 2014: 282).

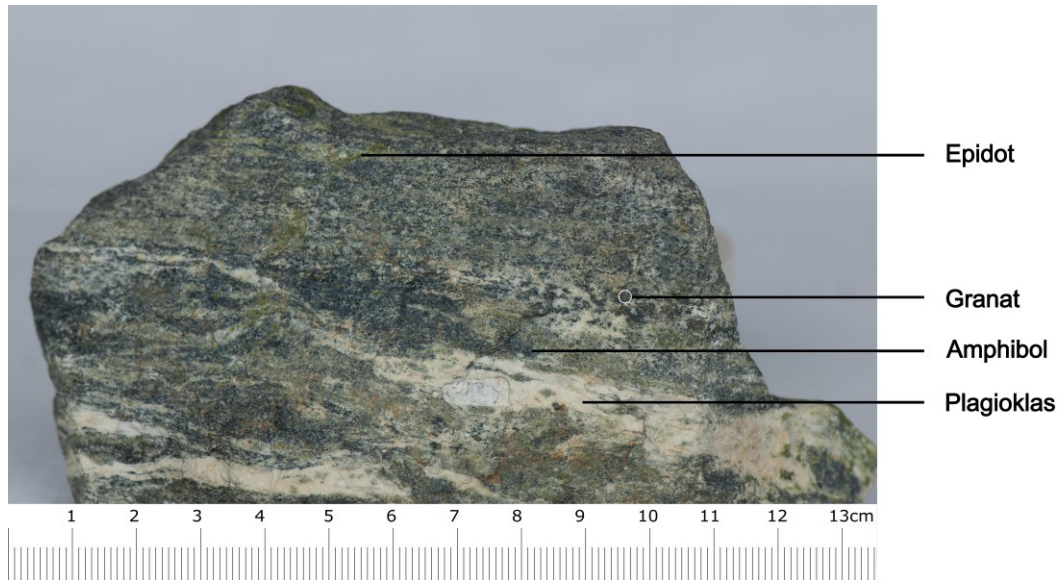


Abbildung 20: Amphibolit, Stubaital - Tirol (KORHERR 2024)

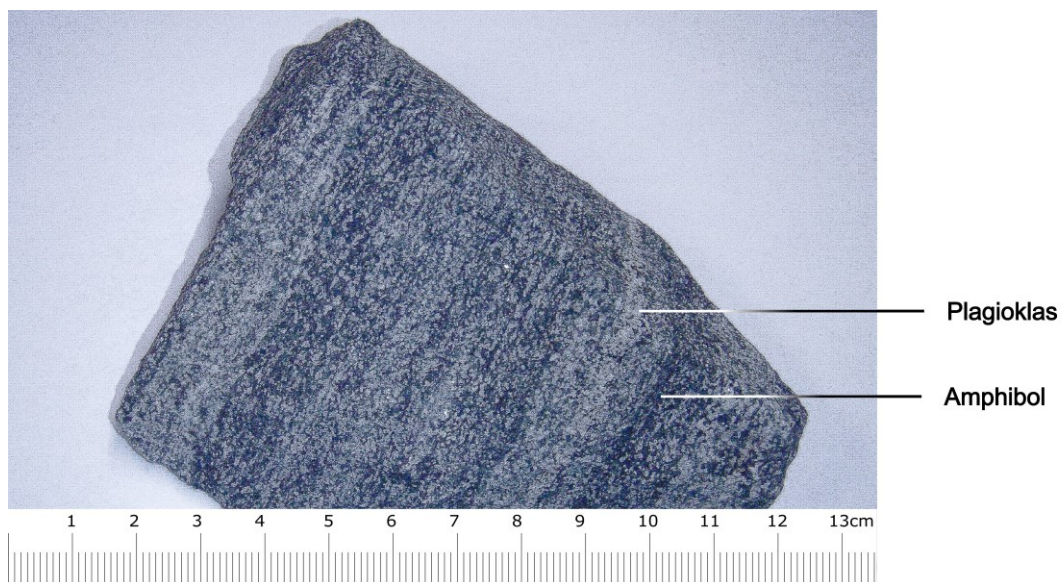


Abbildung 21: Amphibolit, Nibbio - Norditalien (KORHERR 2024)

4.4.11 Glimmerschiefer

Gesteinsklasse: Metamorphit

Metamorphosetyp: Regionalmetamorphose

Metamorphose-Fazies: Grünschiefer- bis Amphibolitfazies (Abbildung 64 im ANHANG)

Entstehungsorte:

- * **Orogene:** in Sedimenten der kontinentalen Kruste ab Überschreiten der Diagenese-Bedingungen
- * **Subduktionszonen** = destruktive Plattengrenzen (Abbildung 67 im ANHANG).

Merkmale:

- * stark geschiefertes Gestein
- * mittel- bis grobkörnig
- * plattig/ flächiger Bruch
- * Färbung: silbrig- grau bis schwarz

Mineralbestandteile:

* Quarz	SiO_2
* Muskovit	$\text{KAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
* Chlorit	$(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
* Biotit	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})_3[(\text{OH}, \text{F})_2 (\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}^{3+}) \text{Si}_3\text{O}_{10}]$
* Disthen/Andalusit	Al_2SiO_5
* Staurolith	$\text{Fe}^{2+}_2\text{Al}_9\text{Si}_4\text{O}_{23}(\text{OH})$
* Granat	$(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mn})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

häufig mit markanten **Porphyroblasten** (Granat, Staurolith, Disthen/Andalusit und Hornblende) (Abbildung 22 und Abbildung 23)

Ausgangsgestein:

tonige Sedimente (Pelite) (vgl. MARESCH et al. 2014: 270).

Entstehungsprozess:

Die Bildung von Schiefen erfolgt in tektonisch beanspruchten, d.h. einer Deformation ausgesetzten Bereichen. Es erfolgt Neubildung bzw. Einregelung von Mineralen im jeweiligen Stressfeld. Je größer der Anteil an plattigen oder stengeligen Mineralen, desto deutlicher wird die Schieferung erkennbar.

Die Temperatur- und Druckbedingungen liegen zwischen 200 und 500°C bei Drucken unter 10 kbar (vgl. OBERHÄNSLI & GOFFE 2004:117).

Ausbildung/Varietäten:

Phyllit ist ein feinkörniges, deutlich geschiefertes Gestein mit auffallend seidigem Glanz der oft gewellten Bruchfläche (MARESCH et al. 2014: 262). Der Metamorphosegrad entspricht der unteren Grünschieferfazies, liegt also am unteren Ende der Glimmerschiefer-Entwicklung.

Glimmerschiefer sind mittel- bis grobschuppige Gesteine mit eindeutiger Paralleltexur, die beim Anschlagen in millimeter- bis zentimeterdicke plattige Bruchstücke zerfallen (MARESCH et al. 2014: 270).

Der Wechsel zwischen Quarz-Feldspat- und Glimmer- Lagen ist typisch, die **Schieferungsfläche** kann dabei eben, aber auch gewellt sein (vgl. MARESCH et al. 2014: 272).

Garbenschiefer: Nach dem Metamorphose-Druckhöhepunkt, wenn die Deformation beendet ist und der Druck wieder abnimmt, dauert die erhöhte Temperatur üblicherweise noch an. Dadurch kann es zu **Mineralblastese** (hier Amphibole) auf den **Schieferungsflächen** kommen (**Abbildung 24** und **Abbildung 25**).

Vorkommen (weltweit):

in allen metamorphen Grundgebirgseinheiten, die zumindest einmal einem Kollisionsprozess ausgesetzt waren.

Fundorte in Österreich:

Österreichweit häufig; Ostalpines Kristallin im weiteren Sinn

Penninikum

Südalpen

Moldanubikum

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Aufgrund der guten Bearbeitbarkeit wurde Schiefer in vorangegangenen Jahrhunderten im Alpenraum als Dacheindeckung genutzt.

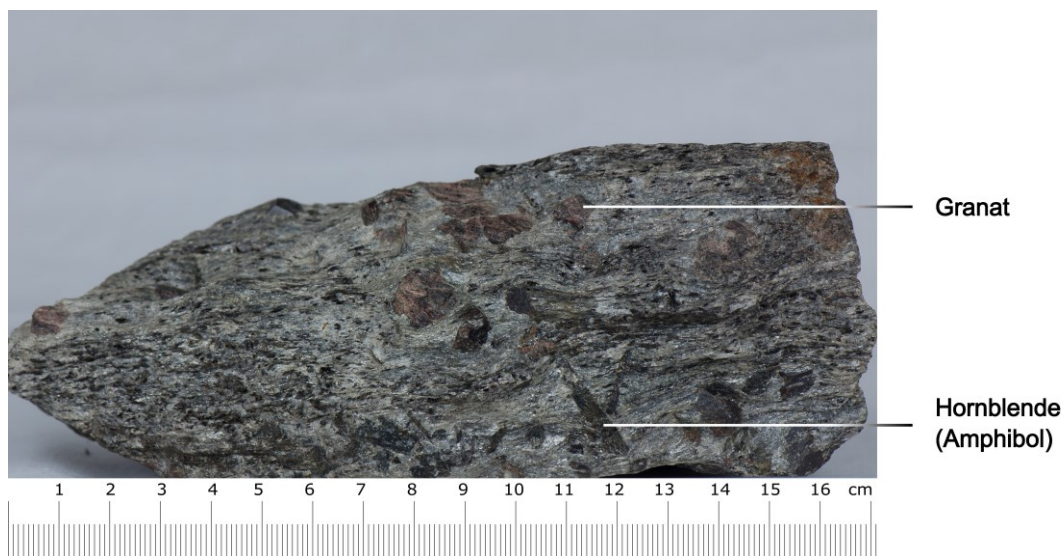


Abbildung 22: Granat-Hornblende-Glimmerschiefer, Zillertal - Tirol (KORHERR 2024)

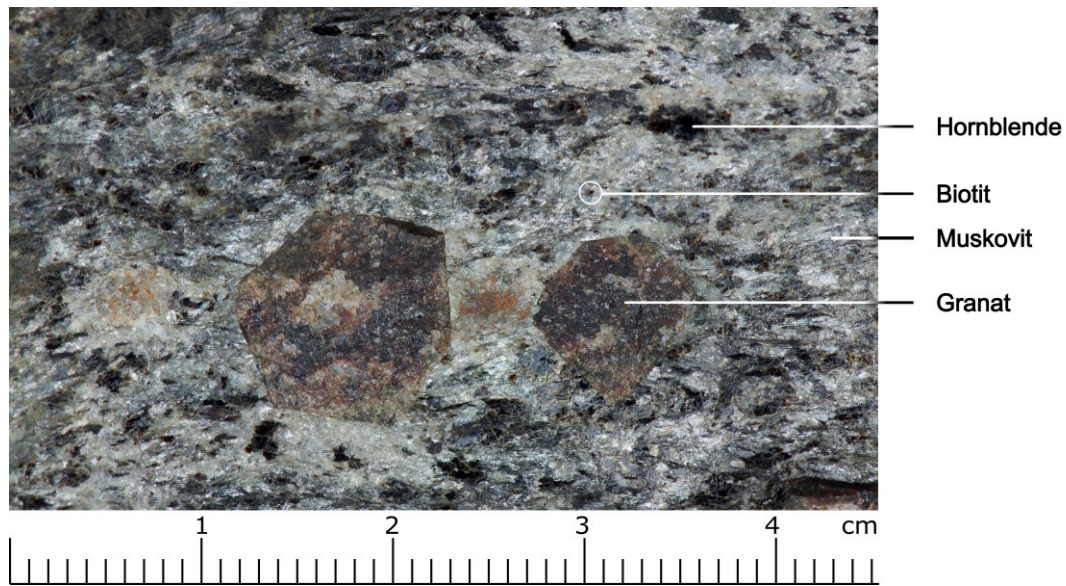


Abbildung 23: Nahaufnahme von Granaten in einem Granat-Hornblende-Glimmerschiefer, Zillertal - Tirol (KORHERR 2024)



Abbildung 24: Hornblende- Garbenschiefer, Zillertal -Tirol (KORHERR 2024)

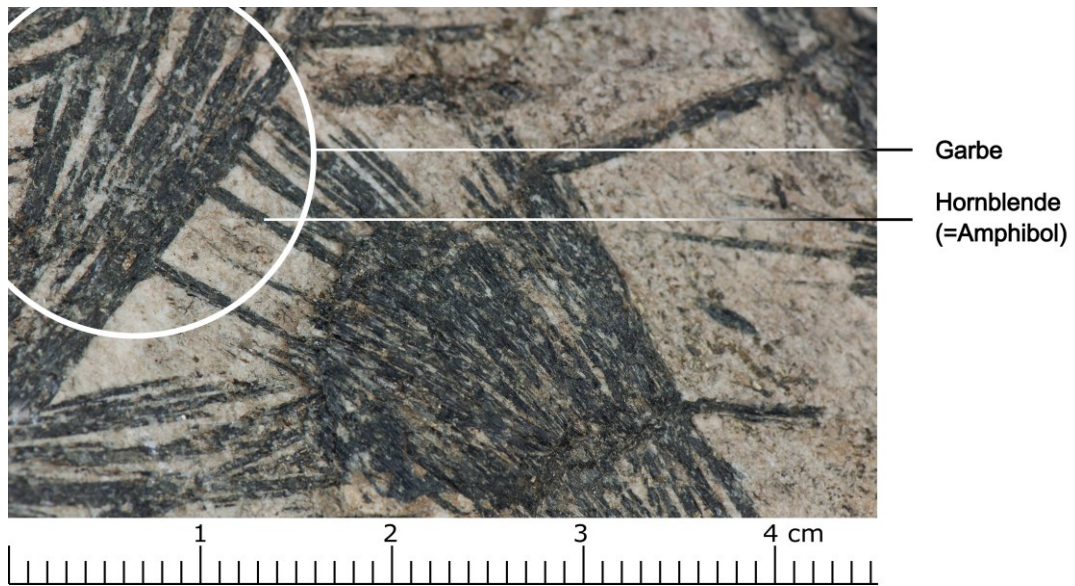


Abbildung 25: Hornblende- Garbenschiefer, Zillertal - Tirol (KORHERR 2024)

4.4.12 Mylonit & Ultramylonit

Gesteinsklasse: Metamorphit

Metamorphosetyp: Dynamo- (Regional)metamorphose

Metamorphose-Fazies: Amphibolit- bis Granulitfazies (Abbildung 64 im ANHANG)

Entstehungsorte: Orogene

Merkmale:

- * sehr straffe Mineralregelung, Minerale in Deformationsrichtung stark elongiert,
- * massig, die Spaltbarkeit ist abhängig vom Glimmeranteil und damit vom Ausgangsgestein
- * feinkörnig, gleichkörnig, vereinzelt "Augen" möglich

Mineralbestandteile:

je nach Ausgangsgestein

Ausgangsgesteine:

Gesteine der duktilen Unterkruste: sowohl Abkömmlinge von magmatischen, metamorphen als auch von sedimentären Gesteinen. **Mylonit** ist eine Bezeichnung für den Deformationsgrad unabhängig vom betroffenen Ausgangsgestein!

Entstehungsprozess:

Mylonite entstehen bei großtektonischen Ereignissen wie Gebirgsbildungen, bei denen sich in großem Maßstab Scherspannungen aufbauen. In der duktilen Unterkruste erfolgt der Abbau dieser Spannungen in eng begrenzten Bewegungsbahnen. Deren Mächtigkeit ist auf wenige Zentimeter bis Meter begrenzt und ist durch ein deutliches Parallelgefüge, welches als Foliation bezeichnet wird, charakterisiert. Der Deformationsprozess, der zur Entstehung dieses Gesteins führt, wird Mylonitisierung genannt und beinhaltet Korngrenz wandern, Kornverkleinerung, Rekristallisation bzw. die Einregelung der Minerale.

Ausbildung/Varietäten:

Augenmylonite sind Mylonite bei denen besonders widerstandsfähige Minerale (oft Kalifeldspäte), als sogenannte „Augen“ enthalten sind. Diese werden auch **Porphyroklasten** genannt (Abbildung 28, Abbildung 29 und Abbildung 30) (Maresch et al. 2014: 334).

Ultramylonite weisen eine besonders dünnlagige Foliation im mm-Bereich auf (Abbildung 26 und Abbildung 27).

Vorkommen (weltweit):

im Bereich von großen Störungen häufig

Fundorte in Österreich:

Überschiebung von Silvretta Kristallin über Engadiner Fenster, Tirol
 Plattengneise in Kor- und Saualpe, Steiermark-Kärnten
 Diendorfer Störung, NÖ
 Granulite, NÖ

.....

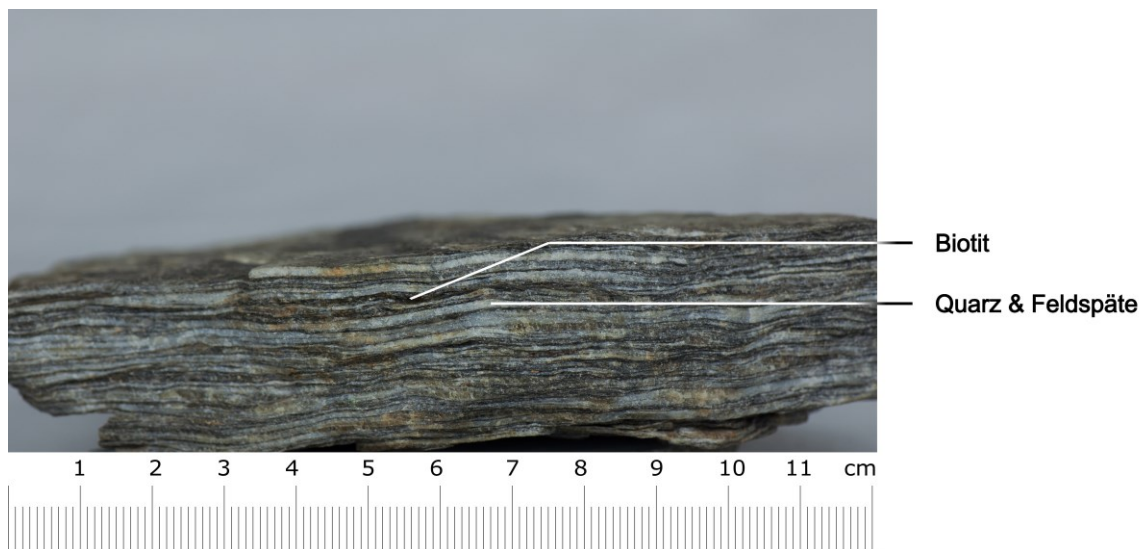


Abbildung 26: Ultramylonit aus Sulztal-Granit-Gneis, Stubaiäer Alpen - Tirol (KORHERR 2024)

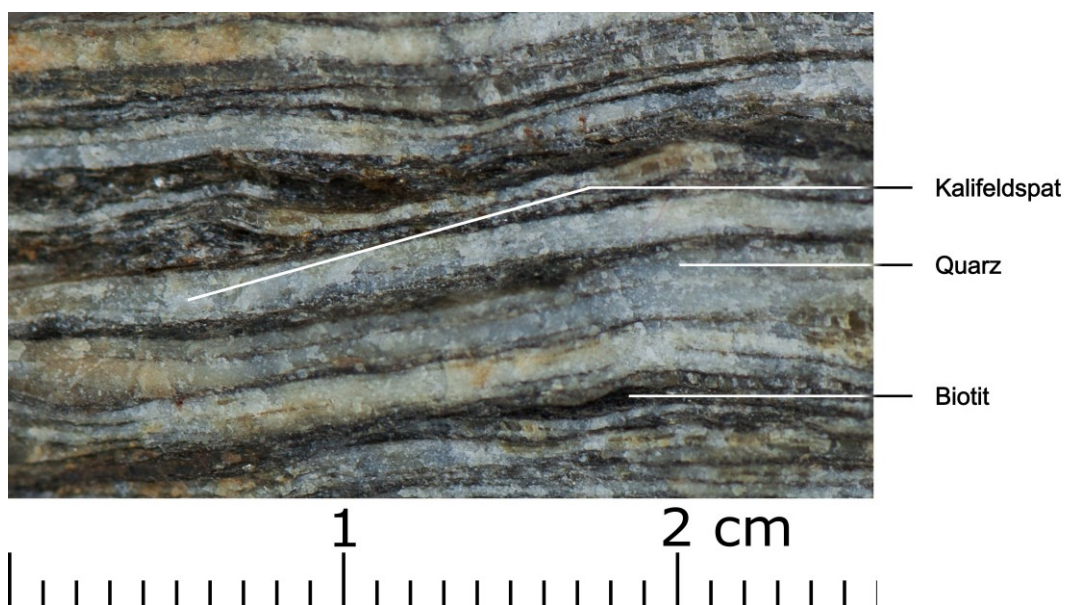


Abbildung 27: Nahaufnahme eines Ultramylonits aus Sulztal-Granit-Gneis, Stubaiäer Alpen - Tirol (KORHERR 2024)

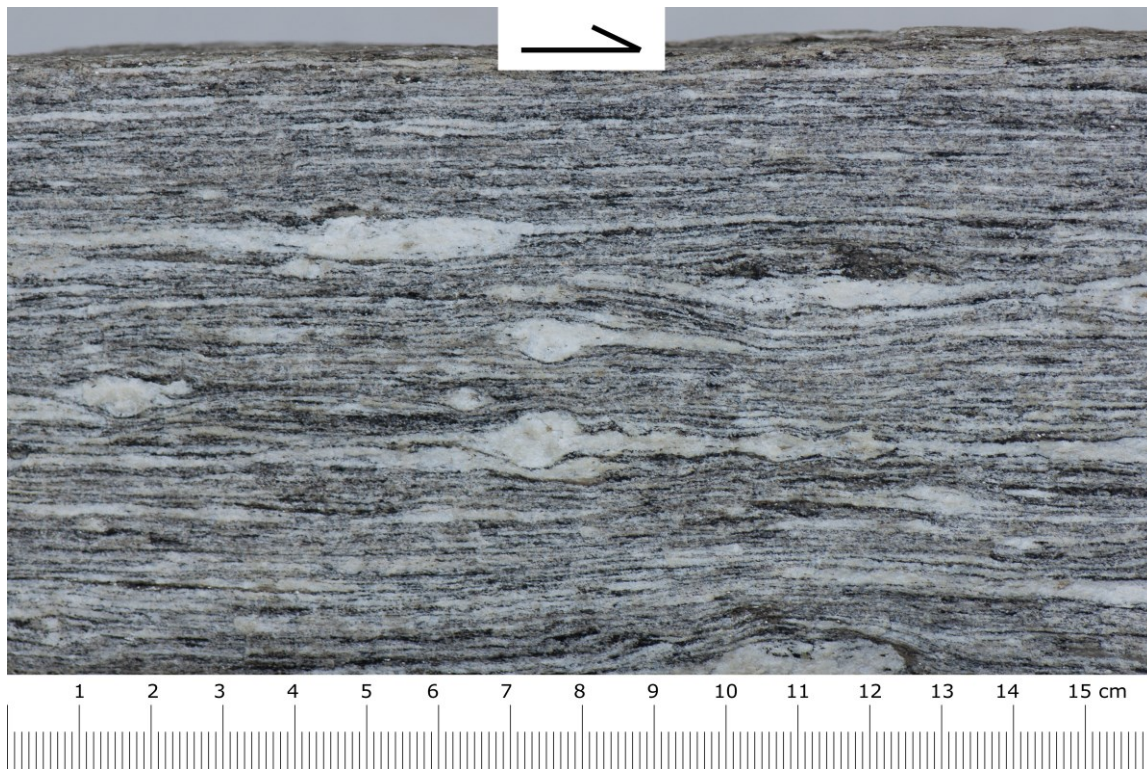


Abbildung 28: Mylonit aus Orthogneis „Monte Rosa Stengelgneis“, Beura - Norditalien (KORHERR 2024)

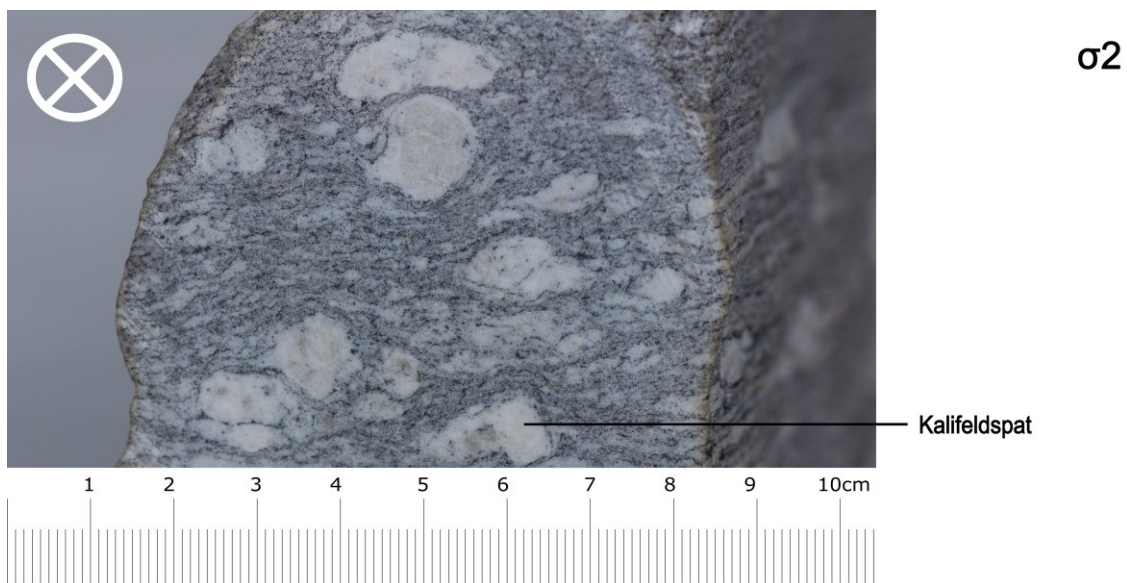


Abbildung 29: Mylonit aus Orthogneis „Monte Rosa Stengelgneis“, Beura - Norditalien (KORHERR 2024)

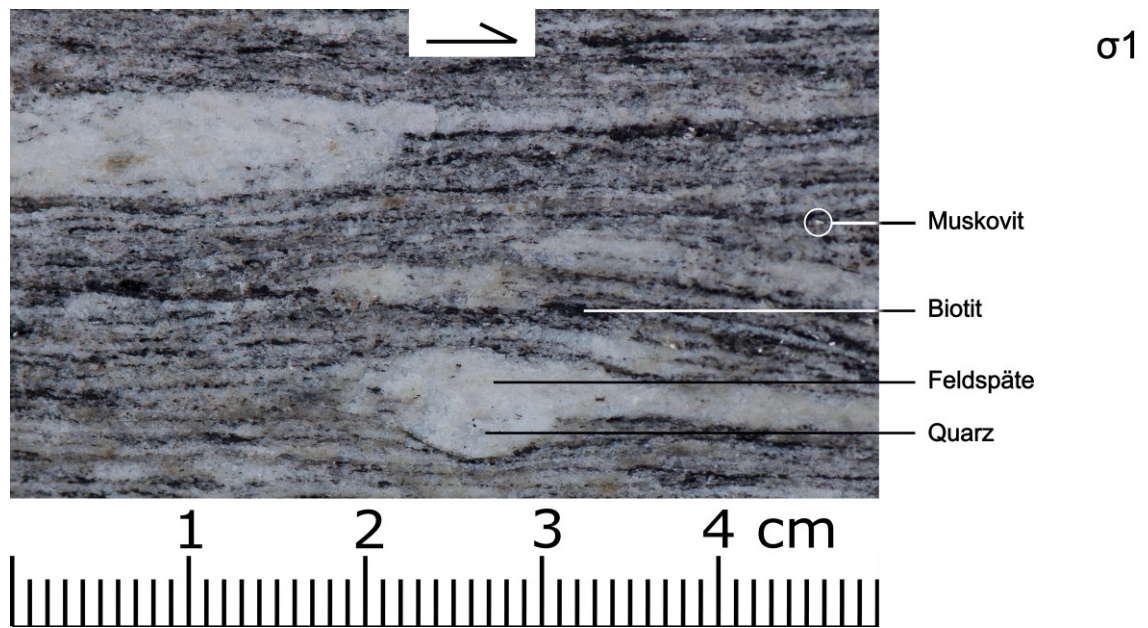


Abbildung 30: Mylonit aus Orthogneis „Monte Rosa Stengelgneis“, Beura - Norditalien (KORHERR 2024)

4.4.13 Gneis

Gesteinsklasse: Metamorphit

Metamorphosetyp: Regionalmetamorphose

Metamorphose-Fazies: obere Grünschiefer- bis Granulitfazies (Abbildung 64 im ANHANG)

Entstehungsorte: Orogene

Merkmale:

- * in Schieferungsfläche eingeregeltere Minerale, massig, weil weit geringerer Glimmer-Anteil als in Schiefen
- * verschiedene Korngrößen

Mineralbestandteile:

- | | |
|------------------|--|
| * Quarz | SiO_2 |
| * Alkalifeldspat | KAlSi_3O_8 |
| * Plagioklas | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |
| * Muskovit | $\text{KAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ |
| * Biotit | $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})_3[(\text{OH}, \text{F})_2 (\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ |
| * Chlorit | $(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (Umwandlung aus Biotit) |

zusätzlich bei Paragneisen:

- | | |
|--|--|
| * Granat (Almandin) | $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ |
| * Staurolith | $\text{Fe}^{2+}_2\text{Al}_9\text{Si}_4\text{O}_{23}(\text{OH})$ |
| * Alumosilikate (Disthen/Andalusit/Sillimanit) | Al_2SiO_5 |

Ausgangsgesteine:

kontinentale Kruste:

- * von Orthogneisen: saure bis intermediäre Magmatite
- * von Paragneisen: klastische Sedimente

Entstehungsprozess:

Gneise sind regionalmetamorphe Gesteine, die bei mittleren bis hohen Metamorphosegraden entstehen. Sie passen sich durch Mineralreaktionen, Mineraleinregelung bzw. Rekristallisation kontinuierlich an die sich ändernden Bedingungen von Temperatur, Druck und Stressfeld an.

Ausbildung/Varietäten:

Orthogneise entstehen aus sauren bis intermediären Magmatiten und sind in der Regel heller als Paragneise. Alkalifeldspat-Augen sind für diese Gneise typisch (Abbildung 31 und Abbildung 32).

Paragneise, die aus klastischen Sedimentgesteinen entstehen, sind durch bunte Al-haltige Minerale charakterisiert und weisen häufig Porphyroblasten aus Granat, Staurolith, Sillimanit oder Disthen auf (Abbildung 33).

Vorkommen (weltweit):

In allen metamorphen Grundgebirgseinheiten, die zumindest einmal einem Kollisionsprozess ausgesetzt gewesen waren.

Fundorte in Österreich:

Ötztal Kristallin, Tirol

Moldanubikum

Tauern Fenster

....

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Die wirtschaftliche Bedeutung von Gneisen liegt in ihrer Verwendung als Mauer- und Baustein in der Bauindustrie. Gerne werden sie auch als **Schotter** im Straßen- und Gleisbau sowie in der Produktion von (Küchen-)platten verwendet.



Abbildung 31: Bassler Granitgneis (Orthogneis), Stubai Alpen - Tirol (KORHERR 2024)

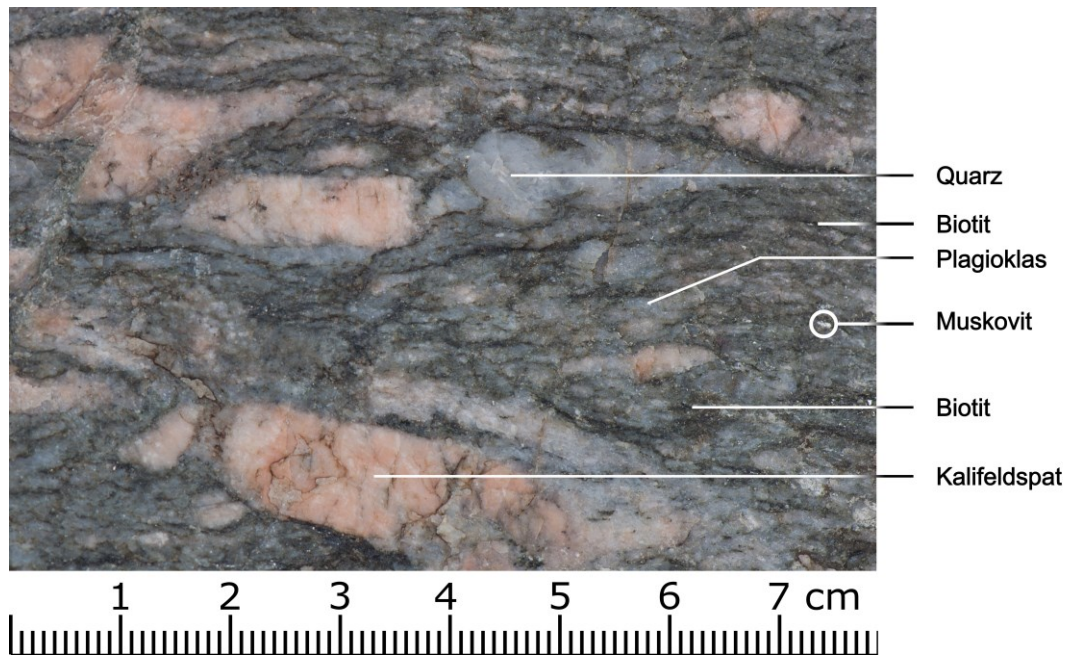


Abbildung 32: Bassler Granitgneis (Orthogneis), Stubaier Alpen - Tirol (KORHERR 2024)

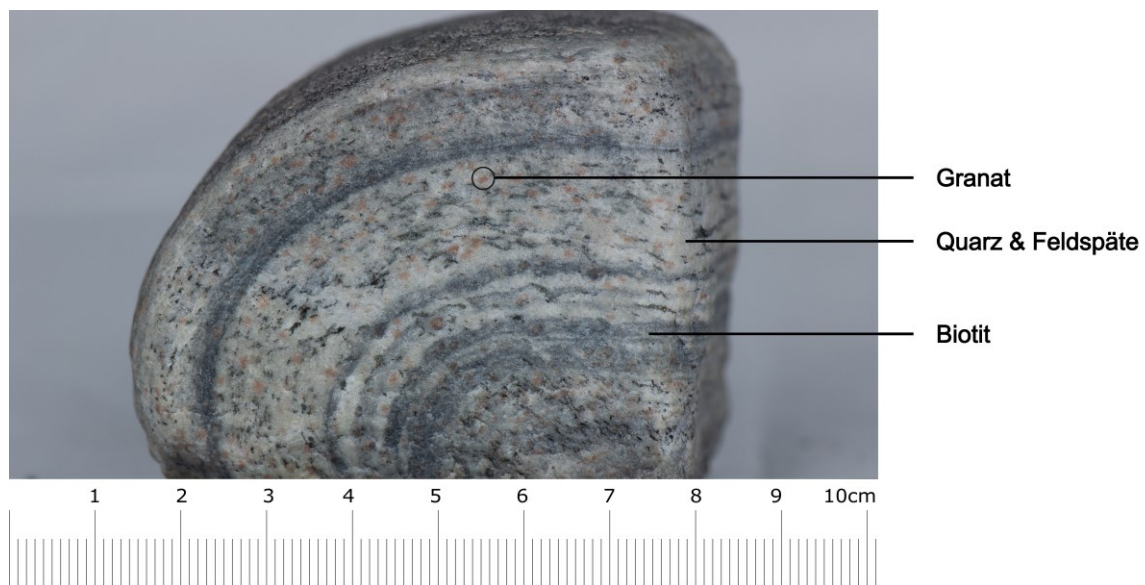


Abbildung 33: Paragneis, Nordkap - Norwegen (KORHERR 2024)

4.4.14 Marmor

Gesteinsklasse: Metamorphit

Metamorphosetyp: Kontaktmetamorphose oder Regionalmetamorphose

Metamorphose-Fazies: Grünschiefer- bis Amphibolitfazies (Abbildung 64 im ANHANG)

Entstehungsorte:

- * im **Kontaktthof** von **Magmenkammern**
- * bei Versenkung in einem mehrere km mächtigen **Sedimentstapel**
- * **Orogene**

Merkmale:

- * **massig**, ausgeprägter Lagenbau
- * gleichkörnig, grobapatig, häufig monomineralisch
- * \pm Tonlagen, Bruchfläche glänzt
- * Färbung: weiß-rötlich, eventuell schlierig

Mineralbestandteile:

- * Calcit CaCO_3
- * Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Ausgangsgesteine:

Reine Karbonate (Kalk, Dolomit)

Achtung: bei Wechsellagerung von **klastischen** (Tone & Sande) und **karbonatischen Sedimenten** entstehen aus den Marmoren bei höherem Metamorphosegrad

Kalksilikate.

Entstehungsprozesse:

Die Bildung von Marmor erfolgt in erster Linie durch Erhöhung der Temperatur. Dies kann sowohl durch aufsteigende Magmen als auch durch zunehmende Versenkung der **Karbonate** erreicht werden.

- * Kontaktmetamorphose:
 - im Grenzbereich von **Magmenkammern** zu umgebenden **Karbonaten**
 - bei vulkanischer Aktivität, wenn eine **Karbonat**plattform durchschlagen wird
- * Regionalmetamorphose:
 - Versenkung im Zuge von Deckenstapelung während einer Orogenese (**Abbildung 34**)

Berühmte Vorkommen (weltweit):

Carrara Marmor, Italien

Thassos-Marmor, Thassos, Griechenland

Fundorte in Österreich/Mitteleuropa:

Sölker Marmor, Sölk, OÖ

Laaser Marmor, Laas, Vintschgau, Südtirol

Krastaler Marmor, Krastal, Kärnten

Wachauer Marmor, Kottes, NÖ

...

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Marmor ist in Form polierter Platten ein begehrter Rohstoff im Baugewerbe für die Verwendung in Innenbereichen, sowie bei Steinmetzen und Bildhauern als Ausgangsmaterial für Statuen und Büsten beliebt. Viele berühmte Kunstwerke aus Griechenland und Italien wurden aus Marmor gefertigt. Eine Besonderheit von Marmor ist, dass er zwar sehr frostbeständig ist, allerdings sehr empfindlich auf Säuren reagiert bspw. auch auf „sauren“ Regen, was wiederum seine Verwendung im Freien massiv einschränkt. (vgl. MARESCH et al. 2014: 254)

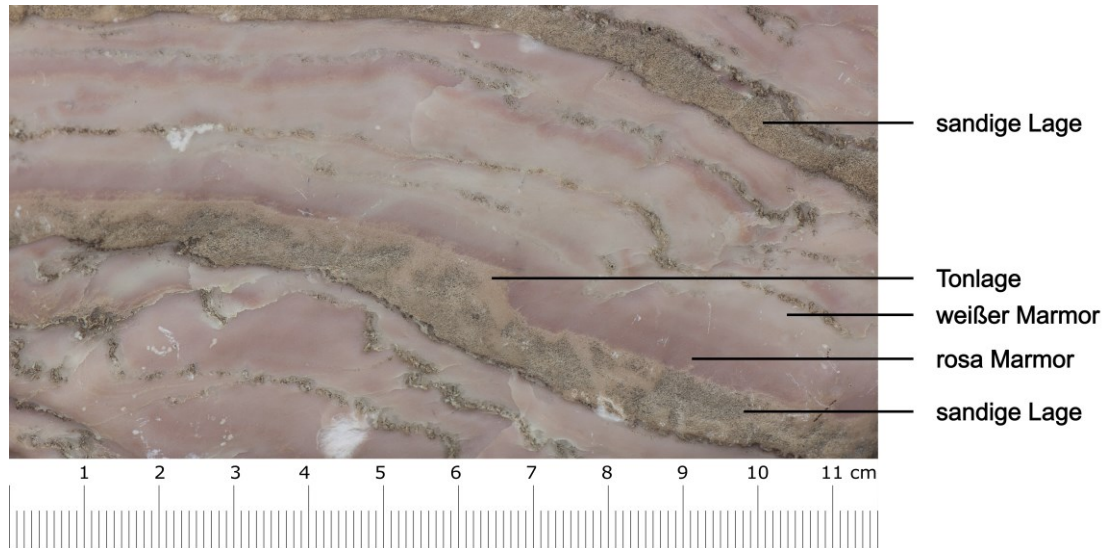


Abbildung 34: Marmor, Kulu-Tal, Niederer Himalaya - Indien (KORHERR 2024)

4.4.15 Haselgebirge/Evaporit(e)

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: chemisches Sediment

Ablagerungsort: flachmarin in Lagunen

Merkmale:

- * massiges bzw. gebanktes Gestein
- * körniger, wasserlöslicher Evaporit
- * Färbung: durchscheinend (durch Sekundärminerale manchmal bläulich, grau, oder rot gefärbt)

Mineralbestandteile:

- | | |
|-------------------|------|
| * Steinsalz/Halit | NaCl |
| * Sylvin | KCl |
| * ± Tonminerale | |

Der Begriff „Haselgebirge“ steht in Österreich für die permischen Evaporite. Das Gestein besteht überwiegend aus den Chloriden Halit (NaCl) und Sylvin (KCl), kann aber durch Sulfate (Gips, Anhydrit) oder Tone verunreinigt sein.

Entstehungsprozess:

Salz wird bei hohen Verdunstungsraten aus Meerwasser ausgefällt. Wenn Meerwasser auf 20% seines ursprünglichen Volumens eingedampft wird, wird zunächst Gips, in manchen Fällen auch Anhydrit, ausgefällt. Erst bei fortschreitender Konzentration und einer Eindampfung auf 10% bildet sich Steinsalz. Weitere Chloride, die Abraumsalze lagern sich zuletzt ab und liegen stratigraphisch über dem Steinsalz. Demnach müssen sie „abgeräumt“ werden, woher ihr Name rührt. (vgl. MARESCH et al. 2014: 238)

Ausbildung/Varietäten:

Sämtliche Salzvorkommen stammen aus einem seicht-marinen Milieu. Die österreichischen Steinsalzvorkommen unterscheiden sich nicht in der Herkunft, nur in der späteren tektonischen Umlagerung von den rezenten Meersalzen, die heute im Handel erhältlich sind. Diese stammen aus Salzpflanzen und werden dementsprechend auch unter lagunären Bedingungen gebildet.

Vorkommen (weltweit):

Mächtige Salzlagerstätten sind weltweit in den Abfolgen des Perms, der Trias und des Tertiärs zu finden (vgl. MARESCH et al. 2014: 238).

Fundorte:

- * „Zechsteinmeer“- Salz, Perm, Deutschland-Polen
- * „Paläotethysmeer“- Salz, Perm, Österreich-Schweiz
- * „Paratethys“ – Salz, Tertiär, Karpaten - Himalaya

Fundorte in Österreich:

Nördliche Kalkalpen (Haselgebirge): Salzkammergut (Hallstatt, Altaussee, Hallein) (Abbildung 35, Abbildung 36 und Abbildung 37)

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Salz ist seit jeher ein bedeutender Rohstoff der Menschen. Es findet sowohl als Würz- und Konservierungsmittel, Streusalz zur Enteisung (KCl), als auch in der chemischen Industrie breite Anwendung (vgl. MARESCH et al. 2014: 238).

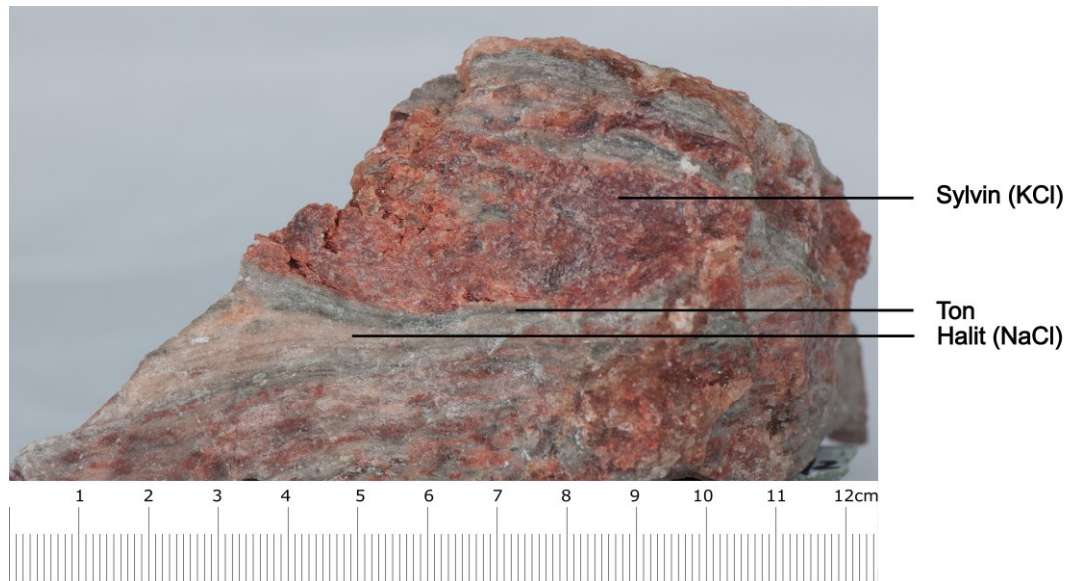


Abbildung 35: Haselgebirge, Hallstatt - Oberösterreich (KORHERR 2024)

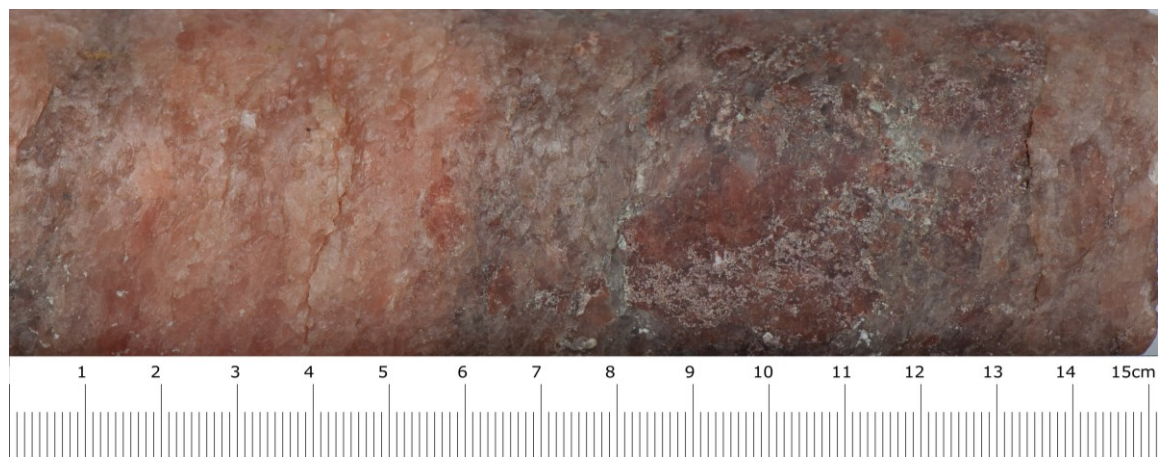


Abbildung 36: Haselgebirge (Bohrkern), Hallstatt - Oberösterreich (KORHERR 2024)

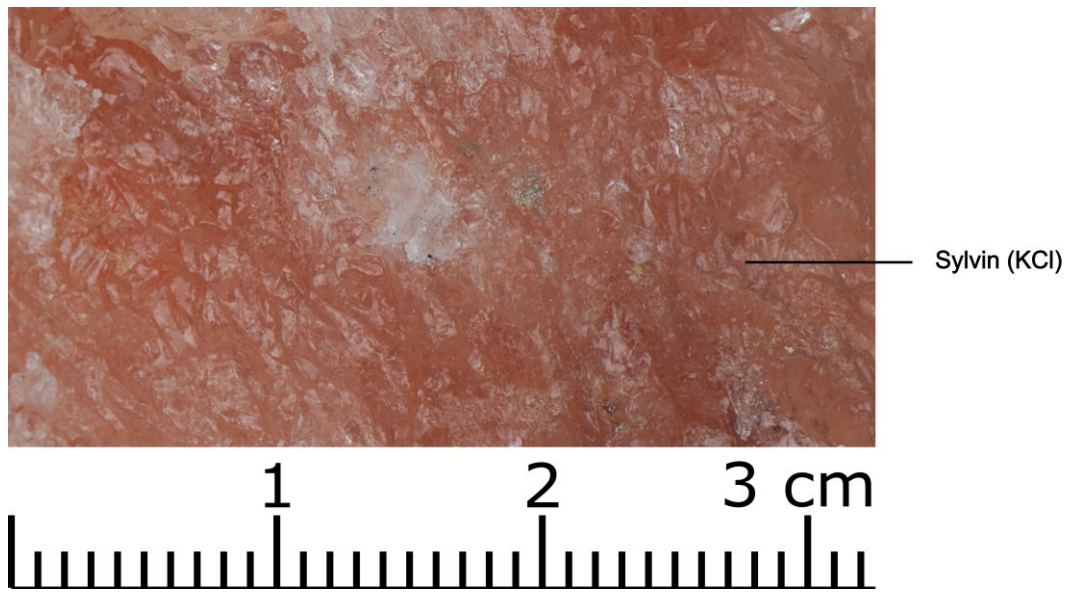


Abbildung 37: Haselgebirge, Hallstatt - Oberösterreich (KORHERR 2024)

4.4.16 Rauwacke

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: chemisches Sediment

Ablagerungsort: flachmarin

Merkmale:

- * **kavernös** (von Hohlräumen durchsetzt)
- * Gerüst aus **Karbonat**-Anteilen, Gipskristalle weggelöst
- * Färbung: gelblich oder braun

Mineralbestandteile:

- | | |
|------------|--|
| * Calcit | CaCO_3 |
| * Dolomit | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ |
| * Gips | $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| * Anhydrit | CaSO_4 |

Ausgangsmaterial:

Karbonate (Kalk, Dolomit) & Sulfate (Gips)

Entstehungsprozess:

In den ursprünglich flachmarin gebildeten Wechselfolgen von **karbonatischen** und sulfatischen **Evaporiten** wird nach einer **Regression**, d.h. wenn der Meeresspiegel gesunken ist, das Gestein der chemischen Verwitterung ausgesetzt. Dadurch kommt es zur präferentiellen Herauslösung der leichter löslichen Gipskristalle. Zurück bleibt ein mit Hohlräumen durchsetzter Kalkstein, der Rauwacke oder auch Zellenkalk bzw. Zellendolomit genannt wird (**Abbildung 38** und **Abbildung 39**).

Ausbildung/Varietäten:

Zellendolomit

Fundorte in Europa:

Raibler Schichten, **Trias**, Nördliche Kalkalpen
Keuper Rauwacken, **Trias**, Helvetikum, Schweiz

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Rauwacke ist aufgrund ihrer Porosität ein sehr guter Wasserleiter und Speicher, was ihre Bedeutung vor allem für die Trinkwassersicherheit erklärt. Eine Gefahr stellt die hochporöse Rauwacke allerdings bei Tunnelbauprojekten dar. Wenn wasserführende Rauwackeschichten angebohrt werden, kann dies zu massiven Wassereinbrüchen führen.



Abbildung 38: Verwitterungsoberfläche von Rauwacke, Glarus - Schweiz (KORHERR 2024)

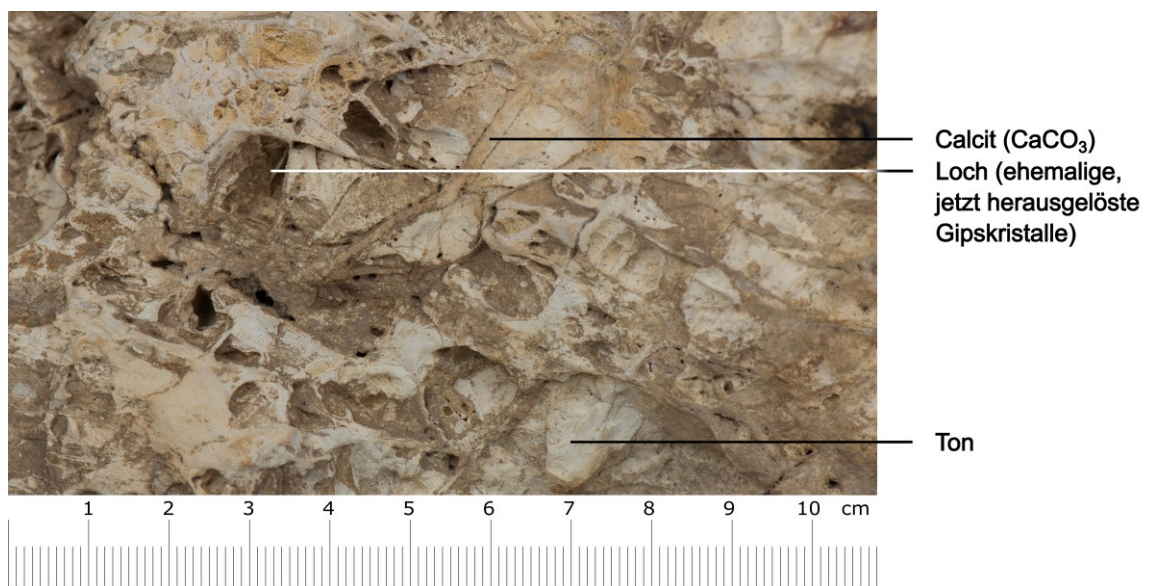


Abbildung 39: Rauwacke mit gut erkennbarem Gerüst aus Karbonat-Anteilen, Glarus - Schweiz (KORHERR 2024)

4.4.17 Kalk

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: biogenes bzw. chemisches Sediment

Ablagerungsort: marin bis an die CCD

Merkmale:

- * farblich sehr divers (von weißlich, gelb, rosa bis dunkelgrau)
- * meistens massig, fein geschichtet bis gebankt, selten porös
- * fein- bis grobkörnig
- * ± Fossilien
- * ± weiße Calcit-Klüfte
- * Entgasung von CO₂ beim Beträufeln mit kalter 3%iger HCl

Mineralbestandteile:

- | | | |
|------------|-------------------|---|
| * Calcit | CaCO ₃ | |
| * Aragonit | CaCO ₃ | vor allem in den Schalen von Organismen |

Ausgangsmaterial:

Kalkstein wird aus den Skeletten von Korallen, den Schalen von Gastropoden und Bivalven und pelagisch lebender Kleinstlebewesen (z.B. Foraminiferen, Algen, Bryozoen, ...) aufgebaut, die in den obersten Wasserschichten (der photischen Zone) leben und nach ihrem Tod zum Meeresgrund absinken.

Entstehungsprozesse:

Nach dem Absterben der Lebewesen lagern sich deren Schalen/Gerüste/Skelette als Kalkschlamm ab. In geringem Ausmaß, unter lagunären Bedingungen bzw. bei Übersättigung, kann auch eine chemische Kalkausfällung erfolgen. Durch die Auflast weiterer Sedimente wird der Kalkschlamm entwässert, kompaktiert und zu Kalkstein verfestigt. Im Zuge der Diagenese kommt es zur Umkristallisierung der biogen gebildeten Aragonit- oder Mg-Calcitschalen, sodass die Kalke in der Folge überwiegend aus Calcit aufgebaut sind (siehe Kap. 4.4.18 Dolomit).

Dieser Prozess vollzieht sich ausschließlich in den Flachwasserbereichen der Meere. Sinken Schalenreste aus den oberen Wasserschichten bis in mehrere tausend Meter Tiefe, in Wasserschichten, die an Karbonat untersättigt sind, dann lösen sich die Skelette auf. Ab einer Grenzschicht in der Tiefsee, der sogenannten Lysokline, beginnt dieser Auflösungsprozess. 300 bis 800 Meter tiefer befindet sich die sogenannte Karbonat-Kompensationstiefe CCD (=carbonate compensation depth), ab der die Auflösungsrate der Eintragsrate entspricht. Es können keine Kalkschlämme mehr abgelagert werden. In der Tiefsee gibt es daher nur Ablagerungen von Tiefseetonen und Radiolarienschlämmen (siehe Kap. 4.4.21 Radiolarit).

Die CCD liegt in 4.000 bis 5.000m Tiefe. Ihre Lage ist im Wesentlichen abhängig von Wassertemperatur und hydrostatischem Druck. Je kälter das Wasser und je höher der Druck, umso mehr CO₂ ist gelöst, das als H₂CO₃ ursächlich für die Kalklösung ist. Da die Wassertemperatur veränderlich ist, schwankt auch die Lage der CCD, sowohl regional (Breitengrad, Wassertiefe und Wasserströmungen), als auch in der Erdgeschichte (Klima).

Ausbildung/Varietäten:

Mikritischer Kalkstein:

Diese Art von Kalkstein ist **massig**, sehr homogen, makroskopisch ohne erkennbare Komponenten.

Fossilkalk:

Wie der Name schon sagt, ist für Fossilkalk der Anteil und die Art der ihn aufbauenden **Fossilien** bestimmend. Fossilkalke bestehen zu > 50% aus den Kalkskeletten bzw. Schalen von Lebewesen. Ist eine Art von **Fossilien** für das Gestein bestimmend, so wird dieses z.B. als Korallenkalk, Foraminiferenkalk, Crinoidenkalk, usw. bezeichnet. Das Erscheinungsbild dieser Arten von Kalkstein, ist von den Fragmenten der einstigen Lebewesen bestimmt. (vgl. MARESCH et al. 2014: 218) Ältere – in der Trias der nördlichen Kalkalpen abgelagerte – sind diagenetisch kompaktiert und daher dicht sowie massig. Jüngere, mäßig kompaktierte (z.B. Leitha-Kalke aus dem Miozän), können noch einen relevanten Porenraum aufweisen, in den Kohlenwasserstoffe migrieren können (= potenzielle Speichergesteine).

Fundorte in Österreich und Mitteleuropa:

Weit verbreitet, z.B.:

Nördliche Kalkalpen, **Jura-Kreide**, Ostalpin (**Abbildung 40** und **Abbildung 41**)

Karnische Alpen, **Jura** (Südalpin), Kärnten

Helvetikum, **Mesozoikum**, Schweiz

Jura, **Mesozoikum**, Schweiz-Frankreich

Schwäbische Alb, **Jura**, Deutschland

Pennines, **Karbon**, England

Ardenne, **Devon**, Belgien-Frankreich

Rhenodanubische Flyschzone, Penninikum (**Abbildung 42** und **Abbildung 43**)

....

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Kalkstein ist ein wichtiger und vielseitiger Rohstoff, der in zahlreichen Industriezweigen Verwendung findet. Als Baustoff in Form von Mauersteinen, Bodenplatten oder als Verblendstein, als Zuschlagstoff in der Glas-, Zement- und Stahlindustrie, als mineralisches Düngemittel in der Landwirtschaft, als Reinigungsmittel in der Lebensmittelproduktion und vielen weiteren Anwendungsbereichen. (vgl. MARESCH et al. 2014: 218)

Zudem stellen poröse Fossilkalke bedeutende Speichergesteine für fossile Rohstoffe wie Erdöl und Erdgas dar. Die Riffkalke der Arabischen Halbinsel und des Iran stellen die größten Erdöl- und Erdgaslagerstätten dieser Art in der Welt dar. (vgl. MARESCH et al., 2014: 222)

Von wissenschaftlich großem Wert sind Kalksteinvorkommen aufgrund der zahlreichen **Fossilien**, die im Kalk konserviert sind. Bedeutende Fundstellen sind beispielsweise jene des Solnhofener Plattenkalks in dem mehr als hundert verschiedene Arten von **Fossilien** bestimmt wurden, unter anderem der berühmte Urvogel *Archaeopteryx*. (vgl. MARESCH et al. 2014: 222)

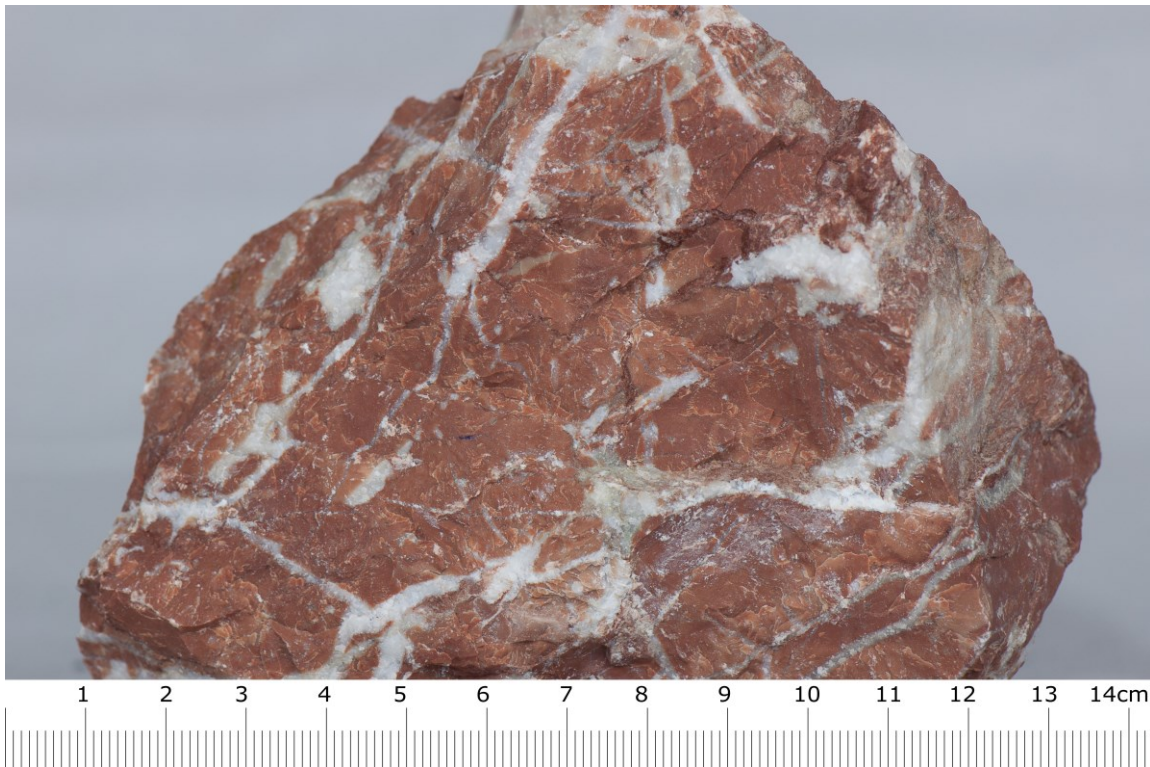


Abbildung 40: Kalkstein, Adnet - Salzburg (KORHERR 2024)

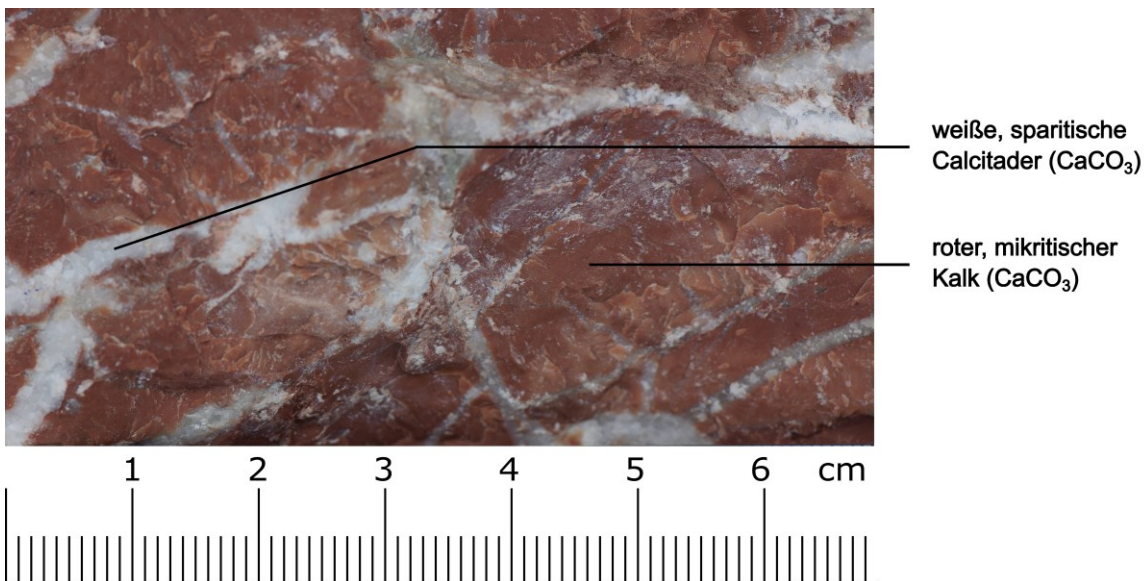


Abbildung 41: Kalkstein mit Calcit-Klüften, Adnet - Salzburg (KORHERR 2024)



Abbildung 42: Verwitterungsoberfläche eines mikritischen Kalksteins, Flyschzone, Klosterneuburg - Niederösterreich (KORHERR 2024)

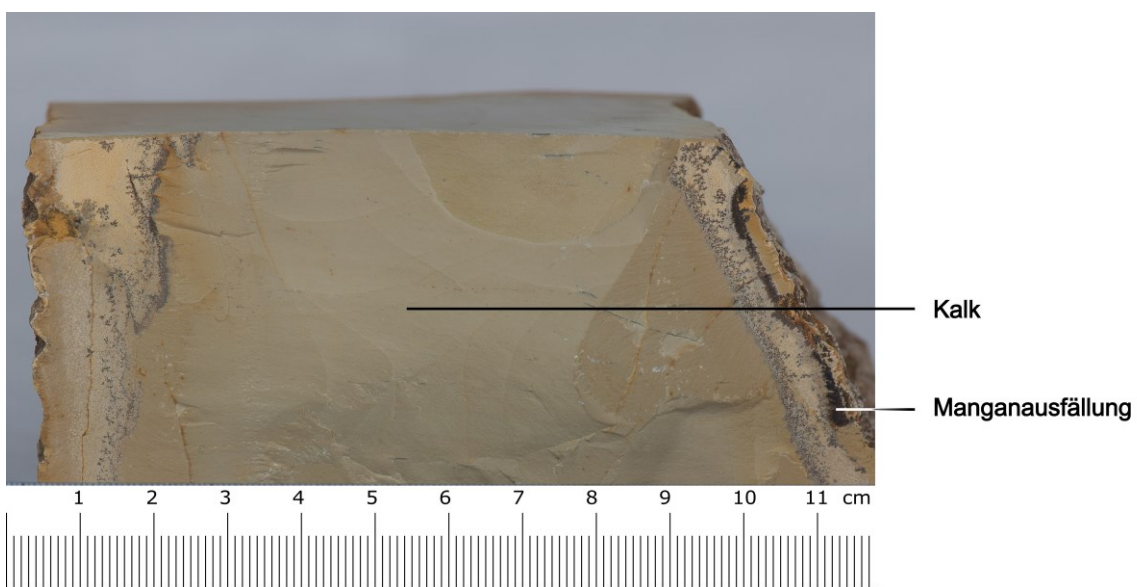


Abbildung 43: Bruchfläche eines mikritischen Kalksteins mit Manganausfällungen, Flyschzone, Klosterneuburg - Niederösterreich (KORHERR 2024)

4.4.18 Dolomit

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: chemisches Sediment

Ablagerungsort: flachmarin

Merkmale:

- * → siehe Kap 4.4.17 *Kalkstein*
- * Entgasung von CO₂ und damit einhergehend Schaumbildung beim Beträufeln mit kalter **10%iger HCl!**

Mineralbestandteile:

- | | |
|-----------|-------------------------------------|
| * Dolomit | CaMg(CO ₃) ₂ |
| * Calcit | CaCO ₃ |

Ausgangsmaterial:

→ siehe Kap. 4.4.17 *Kalkstein*

Entstehungsprozesse:

Die Entstehung von Dolomit wurde lange Zeit als **Dolomitisation** von zuvor abgelagerten Kalken im Zuge der **Diagenese** durch Mg-reiche Fluide aus tieferen Einheiten (→ siehe Kap. 4.4.17 *Kalkstein*: **Rekristallisation** von Mg-Calciten) erklärt.

Die direkte Ausfällung von Dolomit aus Meerwasser wird kontrovers diskutiert, weil sich Dolomitekristalle unter Laborbedingungen bis vor Kurzem nicht haben züchten lassen. Aktuelle, erste Labor-Erfolge deuten darauf hin, dass die Ablagerungsbedingungen durch einen häufigen Wechsel des Meerwasser-Sättigungsgrades (bzw. häufiges Trockenfallen) gekennzeichnet sein müssen (Kim et al. 2023).

Vorkommen (Europa):

Dolomiten, **Trias**, Südtirol
 Karpaten, **Trias**, Slowakei, Rumänien, Bulgarien
 Apennin, **Trias**, Italien

Fundorte in Österreich:

Nördliche Kalkalpen, **Trias**, NÖ, OÖ, Salzburg, Steiermark, Tirol, Vorarlberg (**Abbildung 44** und **Abbildung 45**)
 Lienz Dolomiten, **Trias**, Osttirol
 Karnische Alpen, **Trias**, Kärnten
 Karawanken, **Trias**, Kärnten

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Dolomit weist eine höhere Porosität als Kalke auf und ist daher ein wichtiges **Speichergestein** für fossile Energieträger, insbesondere Erdöl. Bedeutende Lagerstätten sind im Iran, in Algerien und in Kanada zu finden. Des Weiteren wird Dolomit als Baustoff im Straßenbau, der Bauindustrie und von Steinmetzen geschätzt. Auch in der Eisenverhüttung, als Magnesium Lieferant in der chemischen Industrie und Landwirtschaft, sowie als Füllmaterial und Schleifmittel findet das Gestein Verwendung. (vgl. MARESCH et al. 2014: 234)

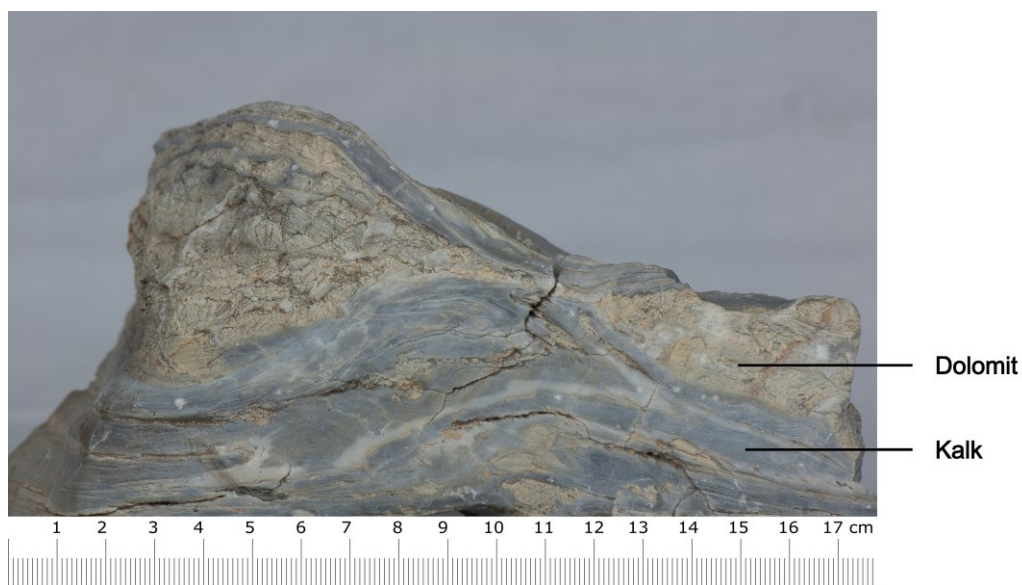


Abbildung 44: Gelblich verwitternde, boudinierte Dolomit-Lage in deformierten grauen Kalken. Die Deformation hat bei niedrigen Temperaturen stattgefunden, daher zeigt der Kalk duktile Verformung, während sich der Dolomit gleichzeitig spröde verhält und zu Boudins zerrissen wird. Stangalm – Mesozoikum, Nockberge – Kärnten. (KORHERR 2024)



Abbildung 45: Gelblich verwitternde, boudinierte Dolomit-Lage in deformierten grauen Kalken. Stangalm – Mesozoikum, Nockberge – Kärnten. (KORHERR 2024)

4.4.19 Mergel

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: klastisches Sediment

Ablagerungsort: sowohl marin als auch limnisch

Merkmale:

- * blättrig, deutlich erkennbarer Lagenbau
- * feinkörnig, ± Fossilien
- * erdiger Geruch, wenn frisch angeschlagen
- * Färbung: grau, braun, grünlich

Mineralbestandteile:

- | | |
|---------------|---|
| * Tonminerale | z.B. Kaolinit $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ |
| * Calcit | CaCO_3 |
| * Quarzkörner | SiO_2 |

Ausgangsmaterial:

Detritus aus physikalischer Verwitterung, Ca^{2+} (und HCO_3^-) aus chemischer Verwitterung und CO_2 (bzw. HCO_3^-) aus der Atmosphäre. Die jeweiligen Anteile dieser Komponenten sind sehr variabel. *Mergel* ist eine Mischung aus Ton und Kalk.

Entstehungsprozesse:

Mergel können sowohl in Meerwasser als auch Süßwasser abgelagert werden, wenn sich feinkörnige Partikel (Ton & Schluff) absetzen, die mit karbonatischen Ausfällungen verkittet werden.

Kompaktion, Entwässerung und Zementation führen im Zuge der Diagenese zur Verfestigung der Mergel.

Achtung: Der Ausdruck "Geschiebemergel" wird in Deutschland für das Material von Grundmoränen verwendet, also für den feinkörnigen Gesteinsabrieb durch Gletschererosion! In diesem Fall handelt es sich um ein nichtverfestigtes, weniger gut sortiertes Lockersediment. Verfestigte Geschiebemergel werden Tillite genannt.

Ausbildung/Varietäten:

Lias Fleckenmergel, Buntmergel (**Abbildung 46**) - Helvetikum, OÖ und NÖ

Fundorte in Österreich:

Allgäuer und Lechtaler Alpen (Parseierspitze) im Unterjura (200 - 175 Ma)
 "Tegel" im Wiener Becken, Niederösterreich (Tertiär)

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Römer haben Tegel zur Herstellung von Dachziegeln gebraucht.
 Heute finden Mergel Verwendung in der Zement-Herstellung.

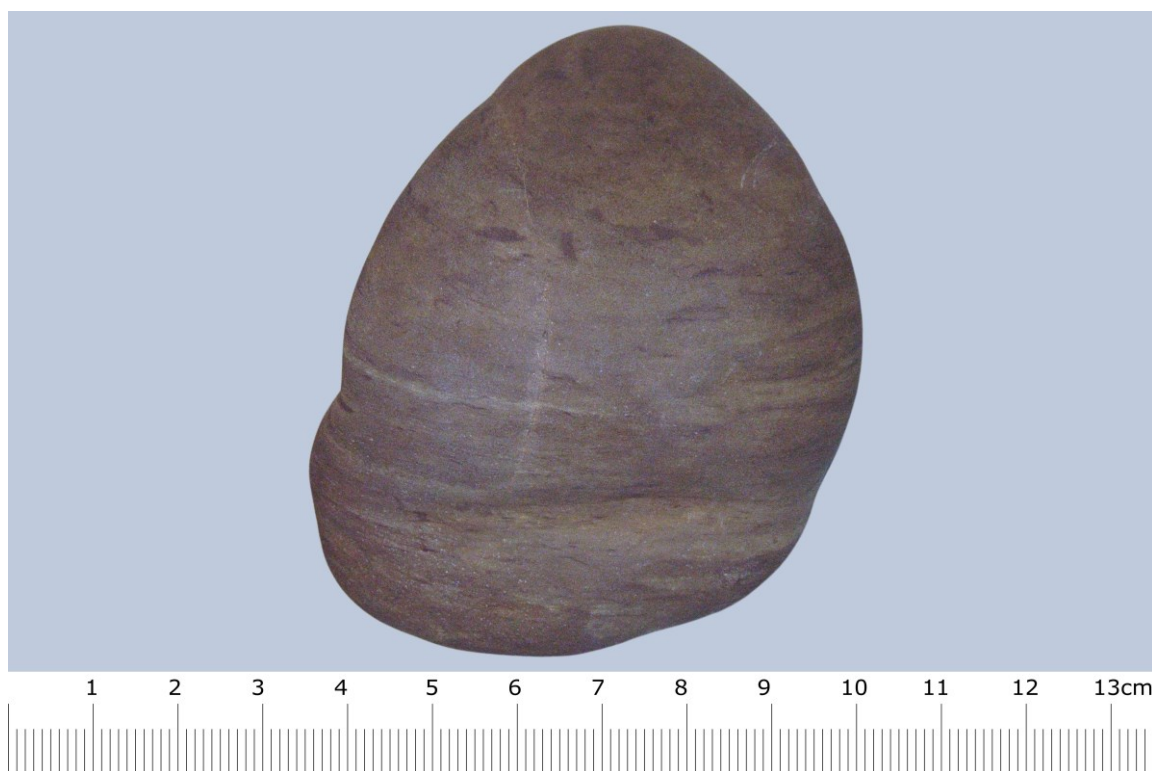


Abbildung 46: Lias-Fleckenmergel mit deutlicher sedimentärer Schichtung, Donauschotter, Petronell - Niederösterreich, ursprüngliche Herkunft: nördliche Kalkalpen (KORHERR 2024)

4.4.20 Hornsteinknollen in Mergel- oder Kalklagen

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: biogenes Sediment

Ablagerungsort: flachmarin, daher mit Kalken, Mergeln usw. vergesellschaftet

Synonyme: Hornstein/Flint/Silex, engl. Chert

Merkmale:

- * massig, Wechsellagerung
- * feinstkörnig
- * Rippen & Knollen: Hornstein ist resistenter gegenüber Verwitterung als Mergel oder Kalk und bildet daher auf angewitterten Flächen erhabene Bereiche

Mineralbestandteile:

- * SiO_2 mikro- bis kryptokristallin (Chalzedon)
- * $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ amorph (Opal)

Ausgangsmaterial:

SiO_2 -Skelette/Gerüste/Nadeln von Organismen wie Kiesel Schwämmen, Radiolarien, Kieselalgen.

untergeordnet: anorganische Ausfällung von SiO_2 aus dem Meerwasser

Entstehungsprozesse:

Nach dem Absterben der Organismen sinken deren anorganische Überreste zum Meeresboden ab und bilden kieselige Lagen in Karbonaten, Pyroklastika, Mergeln oder Tonen.

Diese unterschiedlichen Schlämme reagieren auf die Kompaktion während der Diagenese durch ungleichen Stofftransport, der zur Knollenbildung des kieseligen Materials führt.

Ausbildung/Varietäten:

Hornsteinknollen können Größen von wenigen Millimetern bis zu einem Meter erlangen. Es sind runde bis unregelmäßig geformte Gebilde, die in verschiedenen Farben auftreten (**Abbildung 47** und **Abbildung 48**) und den meisten Menschen in ihrer dunkelgrauen bis schwarzen Variante mit weißer, kalkiger Rinde als Feuerstein oder Flint bekannt sind.

In besonderer Form treten Hornsteine wechsellagernd mit Eisenerzen in den Bändereisenerzen (*banded iron formation*) auf. Andreas Kappler et al. (2005) gehen davon aus, dass es sich um bakterielle Ausfällungen handelt, die im Präkambrium entstanden und in den alten Kratonen Kanadas, der USA, Brasiliens, Russlands, Südafrikas und Australiens vorzufinden sind. Diese großen Eisenvorkommen sind bedeutende Rohstofflagerstätten. (vgl. MARESCH et al. 2014: 250)

Vorkommen (weltweit):

Hornsteine sind häufig in den Kreidevorkommen der Insel Rügen in Deutschland, in Dänemark, Südengland und Nordfrankreich eingelagert (vgl. MARESCH et al. 2014: 250).

Fundorte in Österreich:

Hornsteine sind in den Karbonaten von Jura und Kreide der Nördlichen Kalkalpen zu finden.

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Hornsteine waren in Form von Feuersteinen der wichtigste Werkstoff der Steinzeit. Ihr muscheliger bis splinternder Bruch (**Abbildung 49**) ermöglichte die Herstellung von Steinwerkzeugen die vielseitige Verwendung bei der Jagd, der Nahrungsmittelverarbeitung und Zubereitung, der Herstellung von Werkstoffen und Kleidung und der Verteidigung der Menschen fanden. (vgl. MARESCH et al. 2014: 250)



Abbildung 47: Hornstein (KORHERR 2024)

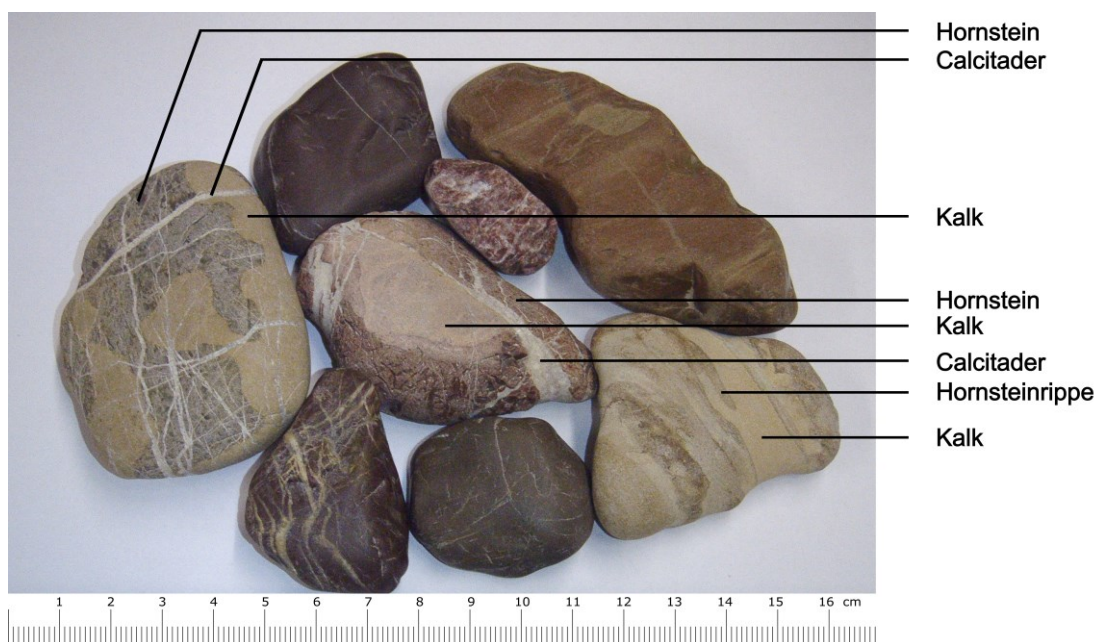


Abbildung 48: Varietäten des Hornsteins (KORHERR 2024)



Abbildung 49: Hornsteinlage mit scharfkantigem, muscheligem Bruch in Kalk, Wien (KORHERR 2024)

4.4.21 Radiolarit (Lydit)

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: biogenes Sediment

Ablagerungsort: marin (Tiefsee)

Merkmale:

- * massig
- * mikrokristallin
- * radial-strahlig, muscheliger, scharfkantiger Bruch
- * Färbung: schwarz, olive, braun oder aubergine, in Abhängigkeit vom Oxidationszustand bei der Ablagerung

Mineralbestandteile:

- * SiO_2 mikro- bis kryptokristallin

Ausgangsmaterial:

Radiolarien-Schlämme, die aus den Skeletten der abgestorbenen Radiolarien bestehen.

Entstehungsprozess:

Die einzelligen Radiolarien, auch Strahlentierchen genannt, leben als Plankton in oberflächennahen Bereichen des Meeres und sinken nach dem Tod auf den Meeresboden ab. Da ihre Gerüste aus SiO_2 aufgebaut sind, können sie auch unterhalb der **Karbonat-Kompensationstiefe (CCD)** abgelagert werden. Hier bilden sie den Großteil der **Sedimente** aufgrund des Fehlens von **Karbonaten** und von **grobklastischem** Material.

Im Bereich oberhalb der **CCD** bestehen kieselige **Sedimente** nicht nur aus Plankton, sondern können auch Teile von sessilen Organismen beinhalten (Nadeln von Kiesel Schwämmen) und liegen meistens als Hornsteinknollen in Kalken oder Mergeln vor (siehe Kap. 4.4.20 *Hornsteinknollen in Mergel- und Kalklagen*).

Ausbildung/Varietäten:

Lydit: schwarze Varietät von Radiolarit aus dem **Paläozoikum**.

Fundorte in Österreich:

Antonshöhe (Maurer Wald, Wien)

Florianikogel, Meliatikum (Wienerwald)

Parseierspitze, Nördliche Kalkalpen (Lechtaler Alpen) (**Abbildung 50** und **Abbildung 51**)

Glockner Decke, Tauern Fenster (Hohe Tauern)

Grestener Klippenzone, Helvetikum

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Lydite wurden lange Zeit zur Bestimmung des Feingehalts von Gold und Gold-Legierungen verwendet, woher auch die Namen Probierstein, Prüfstein, Streichstein und Goldstein stammen. Das Schmuckstück wurde dazu auf einem schwarzen Lydit gerieben und anhand der Färbung des Striches der Feingehalt des Goldes bestimmt. (vgl. MARESCH et al. 2014: 246).

Des Weiteren wurden Radiolarite schon im Paläolithikum auch im Raum Wien abgebaut und zu **Steinwerkzeugen** verarbeitet (vgl. EGGER & WESSELY 2014: 203).



Abbildung 50: Radiolarit mit scharfkantigem Bruch, Passeier Spitze, Nördliche Kalkalpen – Tirol (KORHERR 2024)

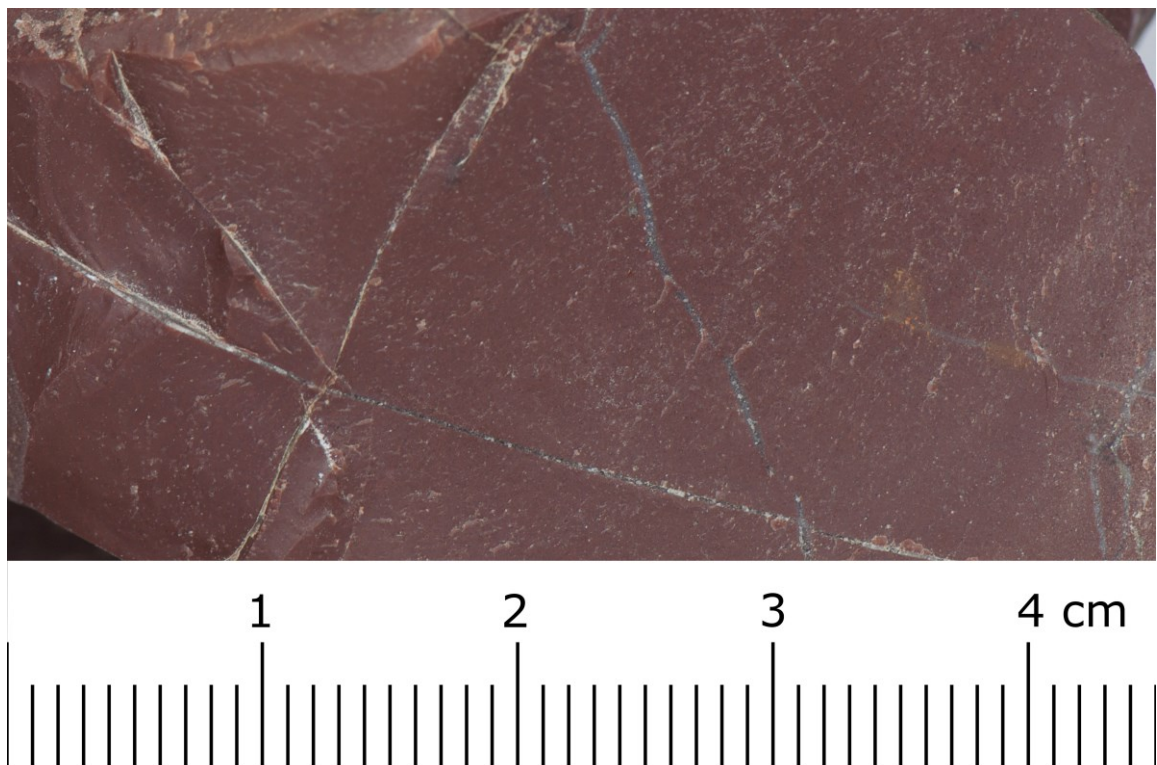


Abbildung 51: Radiolarit mit scharfkantigem Bruch an Bildoberkante und Calcitadern, Passeier Spitze, Nördliche Kalkalpen – Tirol (KORHERR 2024)

4.4.22 Sandstein

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: klastisches Sediment

Ablagerungsort: terrestrisch bis marin

- * intramontane Becken
- * Flussmündungen
- * lakustrin
- * Kontinentalrand/Kontinentalfuß

Merkmale:

- * Lagenbau, einheitliche Korngröße durch Kornsortierung bei Wassertransport!
- * körnig, gerundete Einzelkörner (**Abbildung 62** im ANHANG)
- * Färbung: verschiedene Farben je nach Oxidation

Mineralbestandteile:

- * Quarz SiO_2

je nach Transportweite noch Anteile von:

- * Alkalifeldspat KAlSi_3O_8
- * Plagioklas $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
- * Biotit $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})_3[(\text{OH}, \text{F})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}^{3+}) \text{Si}_3\text{O}_{10}]$
- * Muskovit $\text{KA l}_2[(\text{OH}, \text{F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
- * ± Zirkon, Granat, Rutil, ...

Entstehungsprozesse:

Durch physikalische Verwitterung werden Festgesteine in Komponenten zerlegt, die durch den Transport in Flüssen gerundet und nach Korngrößen sortiert werden.

Eine dieser Kornfraktionen ist der Sand. Je länger der Transport andauert, desto mehr Minerale werden zu Schluff- und Tonfraktion zerrieben, bis der erosionsresistente Quarz mengenmäßig überwiegt.

Die Ablagerung erfolgt bei Nachlassen der Transportkompetenz der Flüsse, also vor allem im Bereich von Flussmündungen, in Deltas oder Schwemmkegeln der Ästuar.

Je nach Materialmenge (abhängig vom Relief im Hinterland) und der Höhe des Meeresspiegels kann das klastische Lockermaterial auch bis an den Kontinentalrand transportiert werden. Dort erfolgt ein Abrutschen in Form von Trübeströmen ("Unterwasser-Muren"). Am Fuß des Kontinentalrandes bzw. zungenförmig in die Tiefsee hinausragend werden diese als Turbidite abgelagert.

An den Küsten kommt es durch Wellenbewegungen ebenfalls zu Erosionsprozessen und (Locker-)Sedimentumlagerungen, die allerdings nur über geologische Zeiträume hinweg relevant sind (vgl. BAHLBURG & BREITKREUZ 2017: 126).

Im Zuge der Diagenese kommt es durch die Auflast von jüngeren Lockersedimenten, zu Entwässerung und Kompaktion des älteren Lockermaterials. Durch die Ausfällung von Mineralen (Calcit, Quarz, Gips, ...) in den Porenräumen zwischen den Sandkörnern wird das Lockermaterial zementiert und damit weiter verfestigt. (vgl. BAHLBURG & BREITKREUZ 2017: 172 f.)

Ausbildung/Varietäten:

- * **Flysch:** die aus Trübeströmen gebildeten **Turbidite** sind durch eine **gradierte Schichtung** gekennzeichnet (Grobkorn an der Basis einer Bank, gegen Hangend feinkörniger werdend).
- * **Molasse:** Abtragung von Gebirgsschutt in Vorlandbecken, nicht gradierte Schichtung

Vorkommen (weltweit):

Schottland, Torridonian (**Proterozoikum**);

Der Torridonian Sandstone ist ca. 1,2 Mrd. bis 900 Mio. J. alt und unmetamorph. Die rote Farbe weist auf ein oxidierendes, terrestrisches (**fluviales**) Milieu hin.

Fundorte in Österreich und Mitteleuropa:

Grödner Sandstein: **Perm**, z.B. Bozen (**Abbildung 52** und **Abbildung 53**)

Buntsandstein: germanische **Trias**, z.B. Heidelberg

Rhenodanubischer Flysch: **Kreide**, im sich schließenden Penninischen Ozean abgelagerte **Turbidite**, z.B. Wienerwald (**Abbildung 54** und **Abbildung 55**)

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Sandstein ist ein wichtiger Baustoff, der vor allem aufgrund seiner guten Bearbeitbarkeit geschätzt wird. Er wurde und wird gerne als Architekturstein in der Fassadengestaltung, für Skulpturen und Denkmäler eingesetzt.

Von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist Sandstein in seiner Funktion als **Speichergestein** für fossile Energieträger. Wichtige Erdöl- und Erdgaslagerstätten sind an Sandsteinvorkommen gebunden.



Abbildung 52: Grödner Sandstein. Die rote Färbung ist auf die Oxidation bei der Ablagerung, die runde Form des Handstücks auf neuerlichen Wassertransport zurückzuführen. Südtirol - Italien (KORHERR 2024)

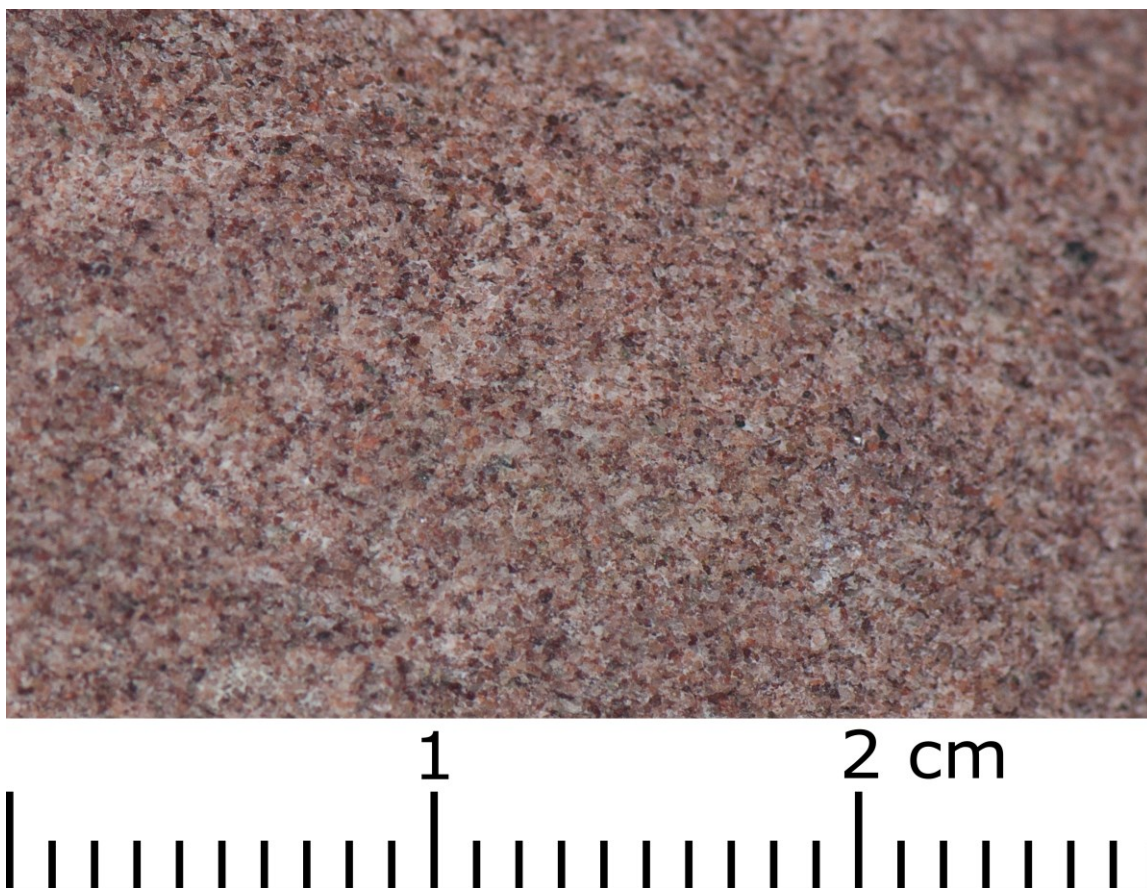


Abbildung 53: Grödner Sandstein, Südtirol – Italien (KORHERR 2024)



Abbildung 54: Verwitterungsoberfläche eines Flysch-Sandstein aus einem marinen Ablagerungsmilieu, Klosterneuburg – Niederösterreich (KORHERR 2024)

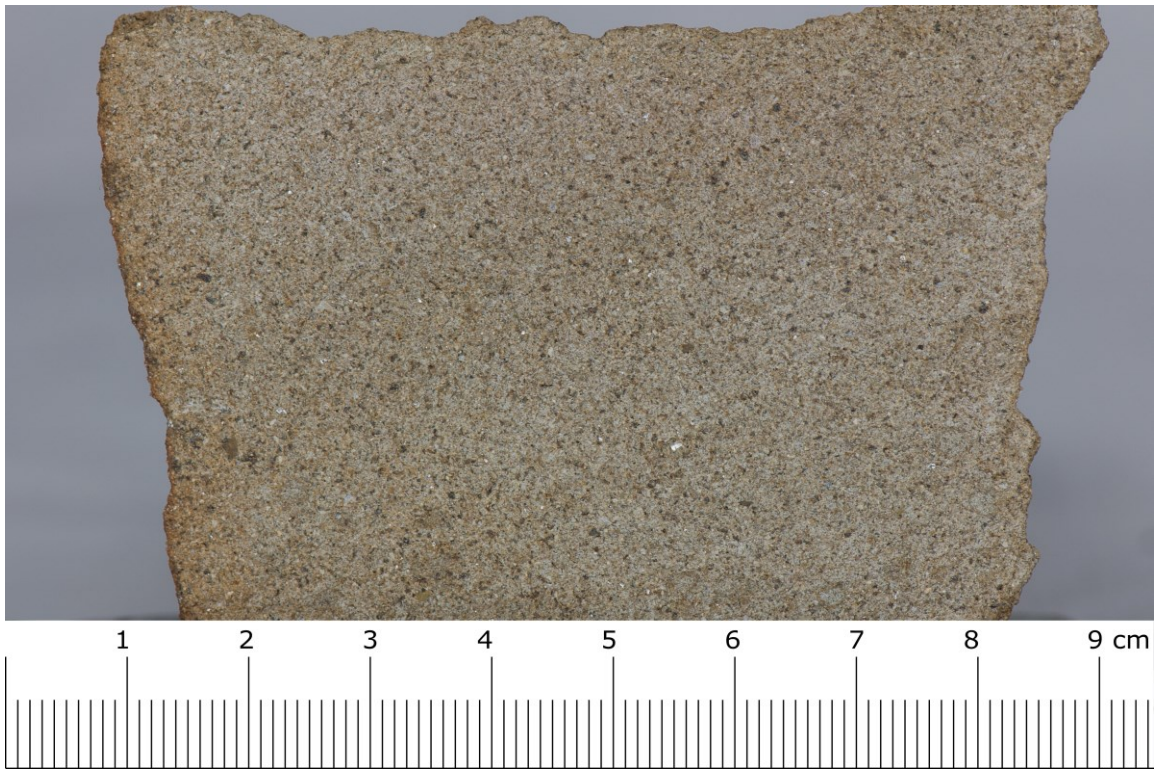


Abbildung 55: Schnittfläche eines Flysch-Sandsteins, Klosterneuburg - Niederösterreich (KORHERR 2024)

4.4.23 Brekzie

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: klastisches Sediment

Bildungsort:

- * terrestrisch (intramontane Becken)
- * marin (küstennahe)
- * bei saurem oder phreatomagmatischen Vulkanismus

Merkmale:

- * eckige Gerölle in einer Matrix (**Abbildung 62** im ANHANG)
- * Färbung: je nach Ausgangsgesteinen

Ausgangsgesteine:

eckige/kantige Gesteinsbruchstücke der kontinentalen oder ozeanischen Kruste

- * einer tektonischen Brekzie: Gesteine der spröden Oberkruste, die bei Aufbau einer Scherspannung zerbrechen
- * einer synsedimentären Brekzie: küstennahe, schwach verfestigte (Kalk-) schlämme
- * einer vulkanischen (Eruptions-) Brekzie: Gesteine, die von aufdringenden (meist sauren) Magmen explosionsartig durchschlagen werden.

Entstehungsprozesse:

Brekzien können anhand ihres Entstehungsprozesses in synsedimentäre-, vulkanische-, tektonische- und Impaktbrekzien unterschieden werden. Voraussetzung ist ein Ereignis, dass zur Zertrümmerung des Ausgangsgesteins führt. Dies können Sturmereignisse/Flutwellen in Küstennähe sein, tektonische Bewegungen an Störungszonen, explosive Vulkanausbrüche, Erdbeben, Meteoriteneinschläge usw. sein. Die Gesteinsbruchstücke werden nicht weiter transportiert, sondern an Ort und Stelle wieder verfestigt. Die Zusammensetzung des Zements, der die Gesteinsbruchstücke wieder verkittet, hängt vom Entstehungsort ab und kann von tonigen Bestandteilen, über sandige Komponente bis hin zu karbonatischen und kieseligen Bindemitteln reichen. (vgl. MARESCH et al. 2014: 180-182)

Ausbildung/Varietäten:

synsedimentäre Brekzie: Entstehung küstennahe

vulkanische (Eruptions-) Brekzie: in Verbindung mit Eruptionseignis

tektonische Brekzie: aufgrund von Störungen

Impaktbrekzie: zurückzuführen auf Impakt / Meteoriteneinschlag

Fundorte in Österreich und Mitteleuropa:

Eruptionsbrekzie: Marmorbruchstücke in Tuff - Predazzo, Italien

synsedimentäre Brekzie: aufgearbeitete Kalkbank - Karnische Alpen (**Abbildung 56**)

tektonische Brekzie: Kataklastit - kleine Windgälle, Schweiz (**Abbildung 57**)

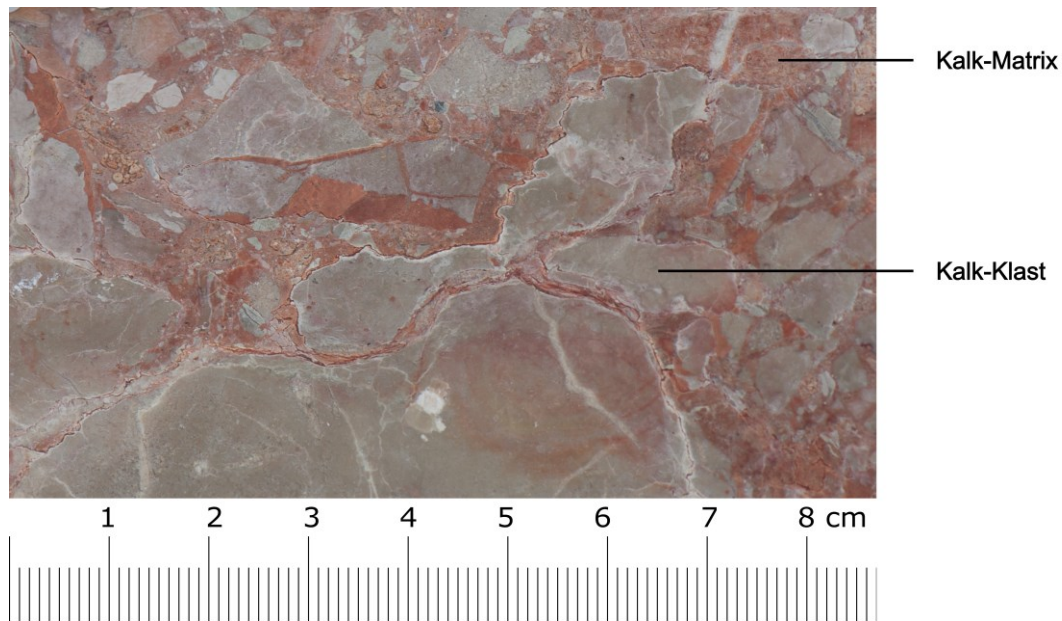


Abbildung 56: Syntedimentäre Kalkbrekzie mit kalkigen Bruchstücken (grau) in Kalk-Matrix (rötlich), Lienzer Dolomiten - Osttirol (KORHERR 2024)



Abbildung 57: Tektonische Brekzie (Kataklastit). In grau ist das feinkörnig zerriebene Gestein, in hellbraun die Dolomit-Bruchstücke zu erkennen. Kleine Windgälle - Schweiz (KLÖTZLI E. 2009)

4.4.24 Konglomerat

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: klastisches Sediment

Ablagerungsort:

- * litoral (Küste)
- * terrestrisch (**fluvial**)

Merkmale:

- * gerundete **Gerölle** in einer **Matrix** (**Abbildung 62** im ANHANG)
- * Färbung: je nach Ausgangsgesteinen (**Abbildung 58** und **Abbildung 59**)

Ausgangsgesteine:

gerundete **Gerölle** aus der Abtragung von Gesteinen der kontinentalen Kruste, die das Gesteinsspektrum des Abtragungsgebietes widerspiegeln.

Entstehungsprozesse:

In Kaltzeiten werden durch Gletscher große Mengen an Gesteinsbrocken und Schutt bis ins Gletschervorfeld transportiert. Dort beginnt der **fluviale** Weitertransport, der zur Rundung der Komponenten und damit zur Bildung von **Schotter** führt.

Da für den Transport dieser **Korngröße** eine hohe Flusskompetenz erforderlich ist, beschränkt er sich auf Bereiche mit höherem Gefälle.

Die Ablagerung erfolgt daher in mittleren Flussabschnitten, in denen verzweigte Flusssysteme vorherrschen. Da eine Verfestigung nur in seltenen Fällen eintritt, werden diese **Schotter**körper häufig umgelagert. Die Entstehung von Konglomeraten ist daher selten.

Auch in Küstenbereichen wird durch die Brandung Gestein abgetragen und gerundet. Bei steigendem Meeresspiegel folgt marine **Sediment**überlagerung, die Komponenten werden mit tonigem oder **karbonatischem** Material verkittet und zu Konglomeraten verfestigt, während sich die Küstenlinie landeinwärts verlagert. Diese Konglomerate werden "Basiskonglomerate" genannt, weil sie die alte Küstenlinie vor Einsetzen einer **Transgression** zeigen.

Fundorte in Österreich:

Verrucano: **Perm**, an der Basis der Nördlichen Kalkalpen, z.B. im Rosanna-Tal (Tirol)

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Anhand der Materialzusammensetzung von Konglomeraten können Geologen das Einzugsgebiet des abgelagerten Materials nachvollziehen. Darauf basierend können **tektonische Vorgänge** in der Vergangenheit sowie die Verläufe ehemaliger Wasserläufe rekonstruiert werden. (vgl. MARESCH et al. 2014: 184)

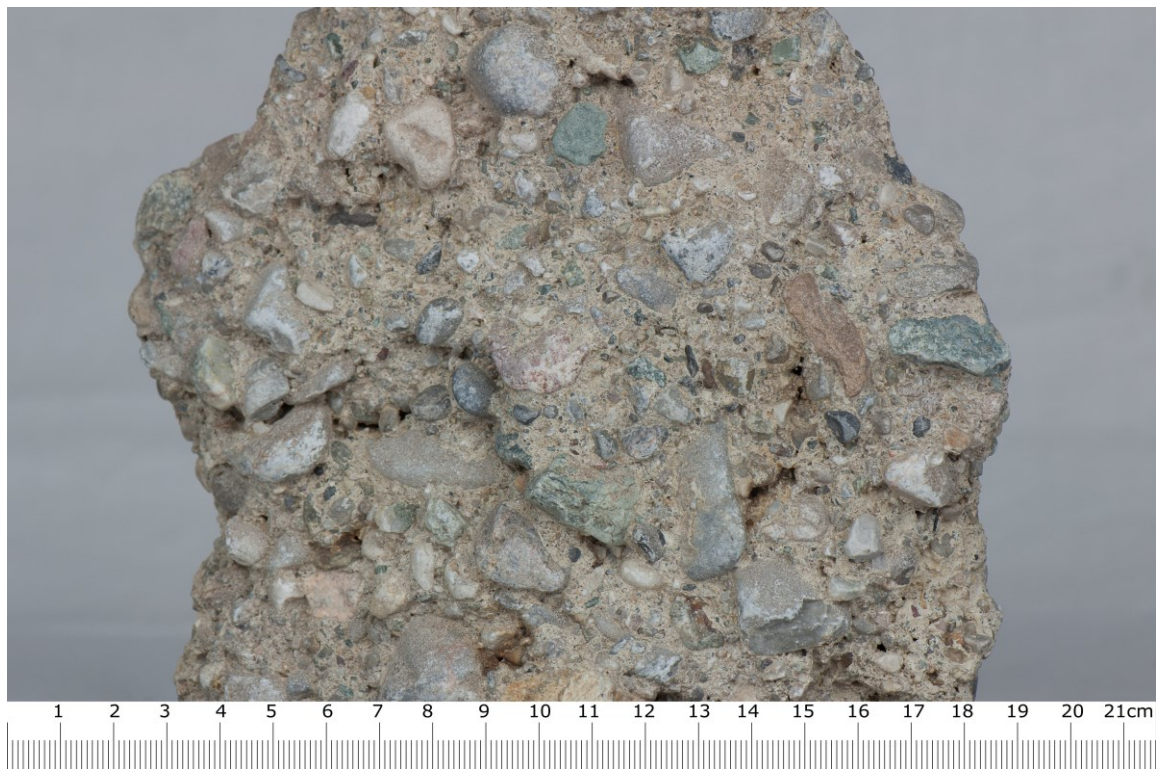


Abbildung 58: Konglomerat, Höllental - Niederösterreich (KORHERR 2024)

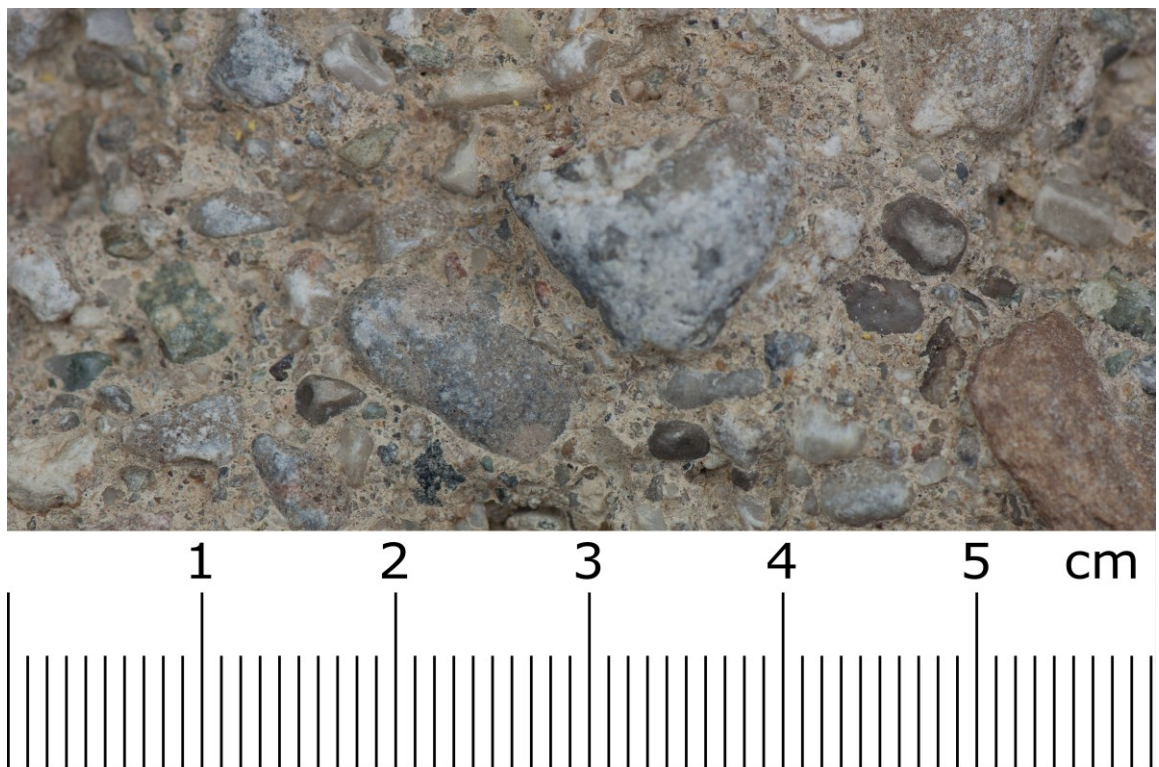


Abbildung 59: Konglomerat, Höllental - Niederösterreich (KORHERR 2024)

4.4.25 Löss

Gesteinsklasse: Sediment

Gesteinstyp: äolisches, klastisches Sediment

Ablagerungsort: terrestrisch, in trockenem, (meist subpolarem) Klima, bei geringer Vegetation

Merkmale:

- * gut sortiert, ohne erkennbare Schichtung
- * feinkörnig, vereinzelt Konkretionen (Abbildung 60 und Abbildung 61)
- * bröckelig zerfallend
- * Färbung: erdig

Mineralbestandteile:

- | | |
|-------------|--|
| * Quarz | SiO_2 |
| * Calcit | CaCO_3 (durch Lösung & Ausfällung entstehen Lösskindl) |
| * Feldspäte | $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ / $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ oder KAlSi_3O_8 |
| * Glimmer | z.B. Biotit $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})_3[(\text{OH}, \text{F})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}^{3+}) \text{Si}_3\text{O}_{10}]$ |

Ausgangsmaterial:

Schluff, untergeordnet Feinsand

Entstehungsprozesse:

Die physikalische Verwitterung bricht Gesteinsverbände auf. Das so verfügbar gemachte Material besteht aus unterschiedlichen Korngrößen, von denen nur die Feinfraktion (hauptsächlich Schluff) durch Wind (äolisch) verfrachtet werden kann. Windtransport von Partikeln erfordert eine trockene und vegetationsarme Landschaft, ist aber sowohl in kalten als auch in heißen Wüsten möglich. Der Rundungsgrad der Körner hängt von der Transportweite ab.

Löss entsteht vorwiegend in Kaltzeiten aus dem Moränenmaterial, welches durch die Tätigkeiten von Gletschern gebildet wird. Der Gesteinsabrieb wird vom Wind aus dem Gletschervorfeld ausgeblasen. Der Löss in Ostösterreich ist somit ein Produkt der letzten Eiszeit. Durch die geringe Transportweite aus dem Vorfeld des Eisstromnetzes ins Donautal bzw. Weinviertel wurden die Partikel nicht gerundet. Auch die Feldspäte blieben erhalten. Dementsprechend gut ist die Verzahnung der Komponenten, die senkrechte Wände trotz geringer Verfestigung ermöglicht. Die Mächtigkeit dieser Lössablagerungen kann von einigen Zentimetern, bis zu mehreren Metern und darüber hinaus reichen.

Ausbildung/Varietäten:

Lösskindl:

Der Karbonatanteil im Löss kann durch versickerndes CO_2 -haltiges Regenwasser gelöst werden. In tieferen Bereichen kann Calcit an Kristallisationskeimen (z.B. Wurzeln) wieder ausgefällt werden. Die so entstehenden Konkretionen werden Lösskindl genannt, weil ihre Formen oft an kleine Puppen erinnern. (vgl. MARESCH et al. 2014: 204)

Vorkommen (weltweit):

Große Vorkommen infolge der pleistozänen Vergletscherungen sind vor allem in Mitteleuropa, Osteuropa und Südosteuropa, in den USA im Gebiet des Mississippi und in China zu finden (vgl. MARESCH et al. 2014: 204).

Fundorte in Österreich:

Weinberge bei Langenlois, Wachau, Weinviertel (Österreich), Pleistozän

Praktische/Wirtschaftliche Bedeutung:

Löss ist ein nicht verfestigtes Gestein und hat deshalb keine praktische Bedeutung als Baustoff. Er bildet aber aufgrund seiner Wasserspeicherkapazität und der vorhandenen Mineralstoffe fruchtbare Böden. Durch die geringe Verwitterungsresistenz wird Löss allerdings sehr leicht von Wasser erodiert, was insbesondere in Asien in großem Maßstab zu beobachten ist. Der Huang He, der Gelbe Fluss, verdankt diesem Umstand seinen Namen (vgl. MARESCH et al. 2014: 204).

Des Weiteren war und ist die leichte Bearbeitbarkeit des Lösses und die Standfestigkeit von Lösswänden die Voraussetzung für die Entstehung von Kellergassen mit ihren Presshäusern und Kellern, die tief in den Löss getrieben wurden. Früher für die Lagerung von Feldfrüchten und zum Keltern von Wein unverzichtbar, liegt die wirtschaftliche Bedeutung dieser Gassen heute vor allem in ihrer Attraktivität für den Tourismus. (vgl. MARESCH et al. 2014: 204)



Abbildung 60: Löss, Langenlois - Niederösterreich (KORHERR 2024)



Abbildung 61: Löss mit Grabgängen von Lebewesen, Langenlois - Niederösterreich (KORHERR 2024)

5 Fazit und Schlussfolgerungen

Das Ziel dieser Masterarbeit war es, durch das zur Verfügung stellen eines Lernbehelfs, einen Beitrag zur Weiterentwicklung des Wissens der Lernenden auf dem Gebiet der Erdwissenschaften zu leisten und gleichzeitig Interesse für die vielfältigen Themen dieser Wissenschaftsdisziplin zu wecken. Der Weg dorthin führt über die gemeinsame Arbeit im Gelände, die direkte Beobachtung der Umgebung sowie das Begreifen und Ertasten des realen Objektes. Die Schülerinnen und Schüler werden ermuntert, genau hinzusehen und zu beschreiben, was sie sehen und ertasten. Die Unmittelbarkeit des Erlebten wird Momente erschaffen, die den Lernenden nachhaltig in Erinnerung bleiben.

Die fachdidaktische Forschung zeigt, dass vor allem das Interesse, Engagement und Fachwissen der Lehrerinnen und Lehrer entscheidend dafür ist, wie viel Geologie Eingang in den Schulunterricht findet. Die Geofibel soll die Lehrenden bei dieser Aufgabe unterstützen und es ihnen erleichtern, Einfluss auf den Lernprozess der Kinder und Jugendlichen zu nehmen. Wie die, in Kapitel 3.2.1 aufgezeigten, möglichen Anknüpfungspunkte an die Lehrpläne beweisen, kann der Einsatz der Geofibel dabei sowohl am Beginn eines neuen Themas (zum Wecken von Interesse), in der Erarbeitungsphase (zur Generierung von Erkenntnissen), aber auch am Abschluss (zur Sicherung des erlangten Wissens) stehen.

Wie Dodick und Orion (2003) treffend schreiben, sind es, angesichts der sich stetig weiter verschärfenden und immer deutlicher zu Tage tretenden (Umwelt-) Probleme, die einzigartigen wissenschaftlichen Methoden und Arbeitsweisen der Geowissenschaften, die die größte Bereicherung für das Leben der Lernenden darstellen werden. Die Geofibel ist mein Versuch, Schülerinnen und Schülern einen Weg zu zeigen, um sich diese Art des Denkens anzueignen. Gleichzeitig soll der Lernbehelf eine Unterstützung für die Lehrkräfte sein und ihr Interesse sowie jenes der Lernenden für die faszinierenden Themen der Geowissenschaften wecken.

Die Praxis wird zeigen, ob die Lehrenden die Geofibel als Unterstützung im Unterricht einsetzen werden, welche Stärken der Lernbehelf besitzt und an welchen Stellen Verbesserungen vorgenommen werden können. Das vorliegende Produkt wird vielleicht nicht jedermanns Anspruch auf Vollständigkeit und Perfektion erfüllen, dieser Behelf wird es dennoch schaffen, den Blick der Anwenderinnen und Anwender zu weiten, Interesse für die vielfältigen Themenbereiche der Geologie zu wecken und Lust auf die Erforschung von bisher Unbekanntem zu machen.

6 Quellen- und Literaturverzeichnis

- BAHLBURG H. und BREITKREUZ C. (2017): Grundlagen der Geologie. 5. Auflage. - Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-54931-5>.
- BMBWF (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung) (2023): Verordnung des Bundesministers für Unterricht und Kunst vom 14. November 1984 über die Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht an diesen Schulen StF: BGBl. Nr. 88/1985 idF BGBl. II Nr. 239/2023. Verfügbar auf: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> [Entnommen am 29.02.2024].
- BURGHARD S. (2015): Die Entwicklung des Lehrplans in Biologie und Umweltkunde unter Berücksichtigung der erdwissenschaftlichen Inhalte. - Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz. Verfügbar auf: <https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/content/titleinfo/495870> [Entnommen am 29.02.2024].
- COHEN K. M., FINNEY S. C., GIBBARD, P. L. & FAN J.-X. (2013): International Commission on Stratigraphy (ICS), Episodes, **36** (3), 199-204. <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2013-01.pdf> [Entnommen am 29.02.2024].
- COX K.G., BELL J.D. & PANKHURST R.J. (1979): Compositional variation in magmas. In: COX K.G., BELL J.D. & PANKHURST R.J. (Hrsg.): The Interpretation of Igneous Rocks.- Springer, Dordrecht, Netherlands, 12-41. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3373-1_2.
- DODICK J. & ORION, N. (2003): Geology as an Historical Science: Its Perception within Science and the Education System. Science Education, 12 (2), S. 197-211. <https://dx.doi.org/10.1023/A:1023096001250>.
- EGGER H. & WESSELY G. (2014): Wienerwald: Geologie, Stratigraphie, Landschaft und Exkursionen. In: ROTHE P. (Hrsg.): Sammlung geologischer Führer. Band 59. 3. Auflage. - Gebr. Borntraeger, Schweizerbart, Stuttgart.
- FRISCH W. & MESCHÉDE M. (2013): Plattentektonik. Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung. 5. Auflage. – WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft) Academic, Darmstadt.
- FRODEMAN R. (1995): Geological Reasoning: Geology as an Interpretive and Historical Science. In: Geological Society of America Bulletin 107, 960–968. [https://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1995\)107%3C0960:GRGAAI%3E2.3.CO;2](https://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1995)107%3C0960:GRGAAI%3E2.3.CO;2).
- HARTLEB E. (2018): Erdwissenschaftlicher Unterricht und LehrerInnen-Fortbildung im Fach Biologie und Umweltkunde: LehrerInnen-Umfrage zu durchgeführtem Unterricht und besuchter Fortbildung in Wien & der Thematik "BIOGEN ENTSTANDENE GESTEINE". – Diplomarbeit, Universität Wien, Wien.
- KAISER M. (2017): Der Geologie-Anteil im Biologie und Umweltkunde-Unterricht. Eine Erhebung in der Steiermark. Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz. Verfügbar auf: <https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/content/titleinfo/1952455> [Entnommen am 29.02.2024].

- KAPPLER A., PASQUERO C., KONHAUSER K. O., NEWMAN D.K. (2005): Deposition of banded iron formations by anoxygenic phototrophic Fe(II)-oxidizing bacteria. In: *Geology*. Bd. 33 (11), S. 865–868. <https://dx.doi.org/10.1130/G21658.1>.
- KATTMANN U. & SCHMITT A. (1996): Elementares Ordnen: Wie Schüler Tiere klassifizieren. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 2 (2), 21 - 38.
- KIM J., KIMURA Y., PUCHALA B., YAMAZAKI T., BECKER U. & SUN W. (2023): Dissolution enables dolomite crystal growth near ambient conditions. *Science*, **382**, 915 - 920.
- KLEIN C. & PHILPOTTS A. (2013): *Earth materials: introduction to mineralogy and petrology*. – Cambridge University Press, New York. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139028028>.
- KLÖTZLI E., TEPER E. & HÖRFARTER C. (2008): Upper Ordovician basic magmatism in the Austroalpine Realm. *Journal of Alpine Geology*, **49**, 54 - 55.
- LE MAITRE R.W. et al. (2002): *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks*. - Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- MARESCH W., SCHERTL H.P. & MEDENBACH O. (2014): *Gesteine: Systematik, Bestimmung, Entstehung*. 2. Auflage. – Schweizerbart, Stuttgart.
- MORAG O. & TAL T. (2012): Assessing learning in the outdoors with the field trip in natural environments (FINE) framework. *International Journal of Science Education*, 34(5), 745-777. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.599046>.
- OBERHÄNSLI R., BOUSQUET R., ENGI M., GOFFE B., GOSSO G., HANDY M., HÖCK V., KOLLER F., LARDEAUX J. M., POLINO R., ROSSI P., SCHUSTER R., SCHWARTZ S. & SPALLA I. (eds.) (2004): *Metamorphic structure of the Alps. 1:1'000'000*. – Commission for the Geological Map of the World (CCMG), Paris. Verfügbar auf: <https://www.researchgate.net/profile/Martin-Engi/publication/236671506/viewer/AS:102015963238410@1401333909500/background/1.png> [Entnommen am 29.02.2024].
- OBERHÄNSLI R. & GOFFE B. (2004): Explanatory Notes to the Map: Metamorphic Structure of the Alps. Introduction. In: OBERHÄNSLI R. (Hrsg.): *Explanatory Notes to the Map: Metamorphic Structure of the Alps*. - Mitt. Österr. Min. Ges. (ÖMG), **149**, Wien, 115 – 123.
- OBERHAUSER R., BAUER F.K., BECK-MANNAGETTA P., CERNAJSEK T., DAURER A., DRAXLER I., DRIMMEL J., FUCHS G., FUCHS W., GATTINGER T.E., GRILL R., HAUSER CHR., HEINRICH M., HOLZER H., JANOSCHEK W., MALECKI G., MATURA A., OBERHAUSER R., PAHR A., PIRKL H.R., PISTOTNIK J., PLÖCHINGER B., PREY S., PRIEWALDER H., RONNER F., SCHÄFFER G., SCHARBERT S., SCHERMANN O., SCHNABEL W., SCHÖNLAUB H.P., SIEBER R., STRADNER H., THIELE O. und WOLETZ G. (1980): *Der geologische Aufbau Österreichs*. – Springer - Verlag, Wien, New York.
- RAINER V. (2016): *Geologische Exkursionen für den Schulunterricht (Sekundar I und II) in Kärnten*. – Diplomarbeit, Karl- Franzens- Universität Graz, Graz. Verfügbar auf:

<https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/content/titleinfo/1664206> [Entnommen am 29.02.2024].

- SCHUSTER R., EGGER H., KRENMAYR H.G., LINNER M., ANDL G.W. M., MATURA A., NOWOTNY A., PASCHER G., PESTAL G., PISTOTNIK J., ROCKENSCHAUB M. und SCHNABEL W. (2015): Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich 1:1 500 000. (Ohne Quartär). - Geologische Bundesanstalt / Rocky Austria, Wien. Verfügbar auf:
[https://www.geologie.ac.at/fileadmin/user_upload/dokumente/Rocky Austria/Graphiken/uebersichtskarte_oesterreich.pdf](https://www.geologie.ac.at/fileadmin/user_upload/dokumente/Rocky_Austria/Graphiken/uebersichtskarte_oesterreich.pdf) [Entnommen am 29.02.2024].
- SENECA L. (Hrsg.) (64 n. Chr.): Epistulae morales ad Lucilium. Liber XVII et XVIII: Brief 106. – Rom.
- TAL T. (2012): Out-of-school: Learning experiences, teaching and students' learning. Second international handbook of science education.- Springer, Dordrecht, Netherlands, 1109-1122. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_73.
- UITTO A., JUUTI K., LAVONEN J., & MEISALO V. (2006): Students' interest in biology and their out-of-school experiences. Journal of Biological Education, 40(3), 124-129. <https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656029>.

ANHANG

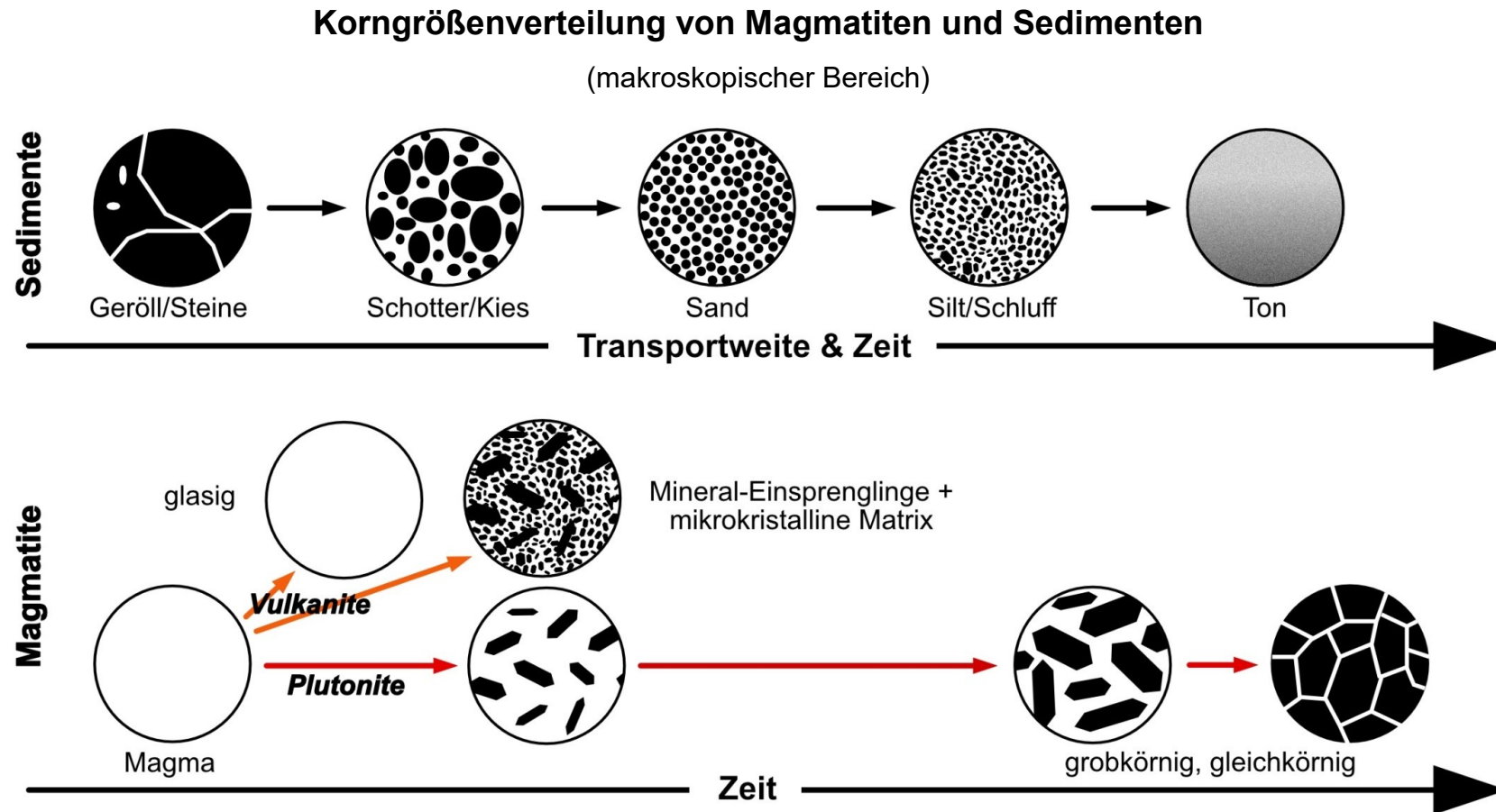


Abbildung 62: Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten (KORHERR, 2024)

Geochemische Klassifikation von Magmatiten

(anhand des Gesamtgehalts an Alkalioxiden ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) gegenüber Siliziumdioxid (SiO_2) in Gewichtsprozent (wt%))

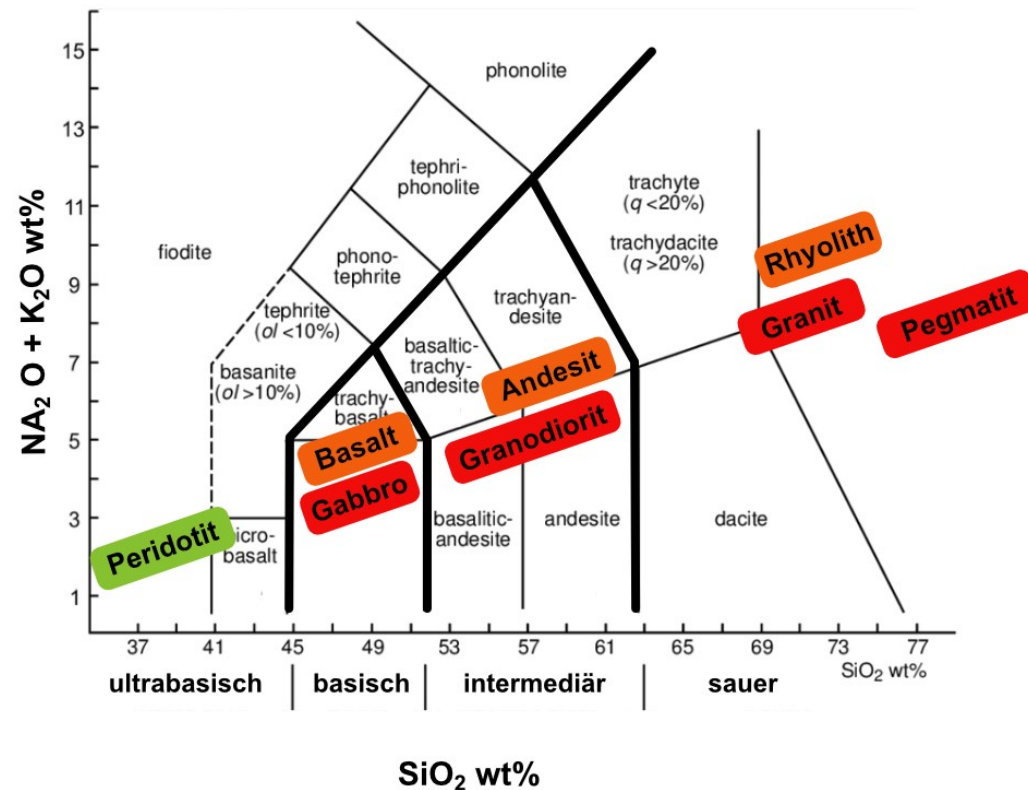


Abbildung 63: Geochemische Klassifikation von Magmatiten. (LE MAITRE R.W. et. al, 2002 nach COX K.G., BELL J.D. & PANKHURST R.J., 1979, adaptiert durch KORHERR 2024)

Die Abfolge zeigt den Entwicklungstrend bzw. den Differentiationstrend von basischen zu sauren Schmelzen. Grün hinterlegt ist das ursprüngliche Mantelgestein (Peridotit). Aus dem Reservoir des Mantels stammen alle Schmelzen. Durch Differentiation des ultrabasischen Mantelmaterials entstehen basische, intermediäre und zuletzt saure Gesteine. Vulkanite in Orange und Plutonite in Rot entsprechen sich im Chemismus, unterscheiden sich aber aufgrund ihres Entstehungsprozesses.

Metamorphose Fazies im Druck-Temperatur (P/T) Diagramm

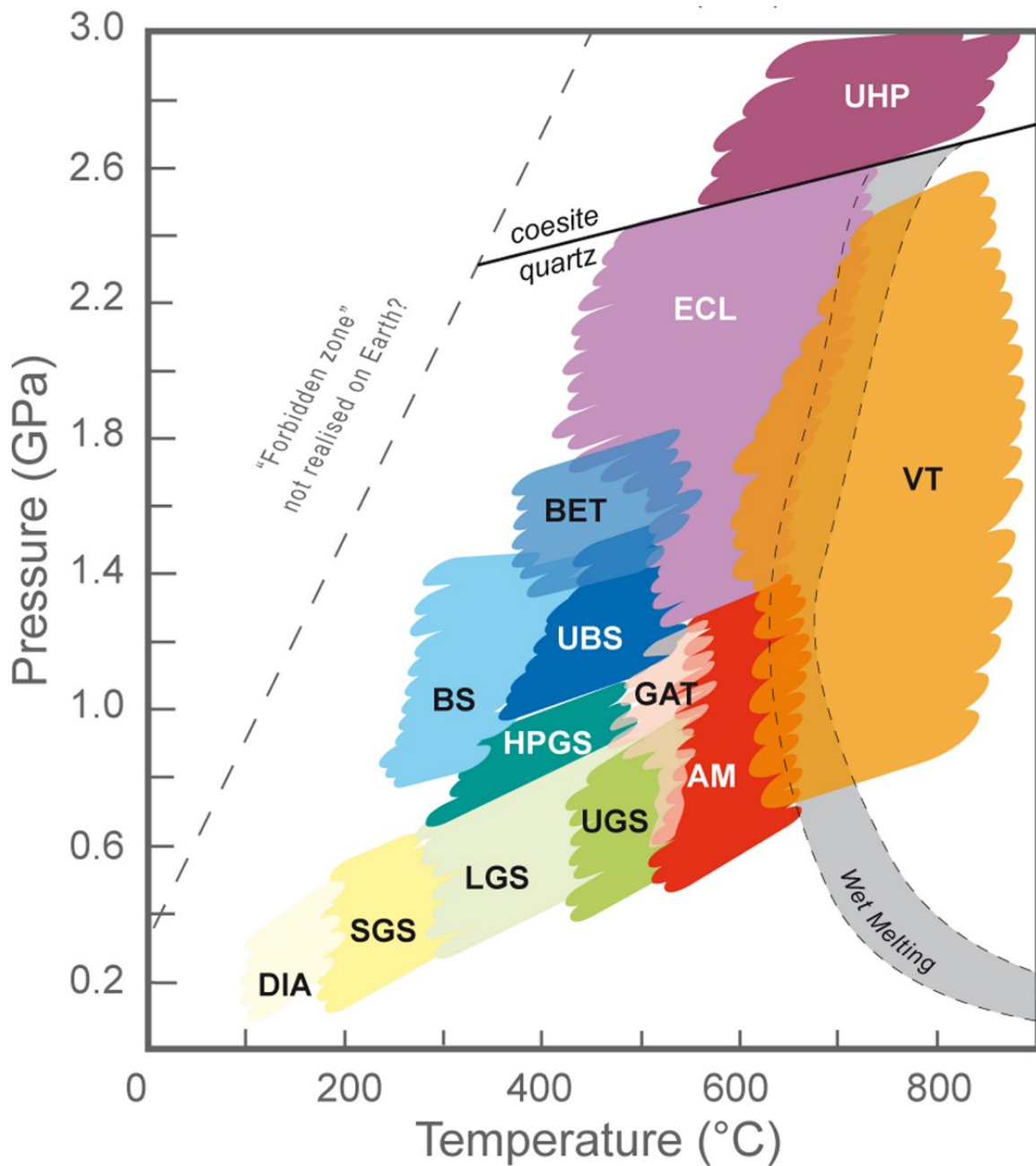


Abbildung 64: Metamorphose Fazies im Druck-Temperatur (P/T) Diagramm (OBERHÄNSLI R. et al., 2004)

OBERHÄNSLI R., BOUSQUET R., ENGI M., GOFFE B., GOSSO G., HANDY M., HÖCK V., KOLLER F., LARDEAUX J. M., POLINO R., ROSSI P., SCHUSTER R., SCHWARTZ S. & SPALLA I. (eds.) (2004): Metamorphic structure of the Alps 1:1'000'000. Commission for the Geological Map of the World (CCMG), Paris.

Übersicht Erdzeitalter

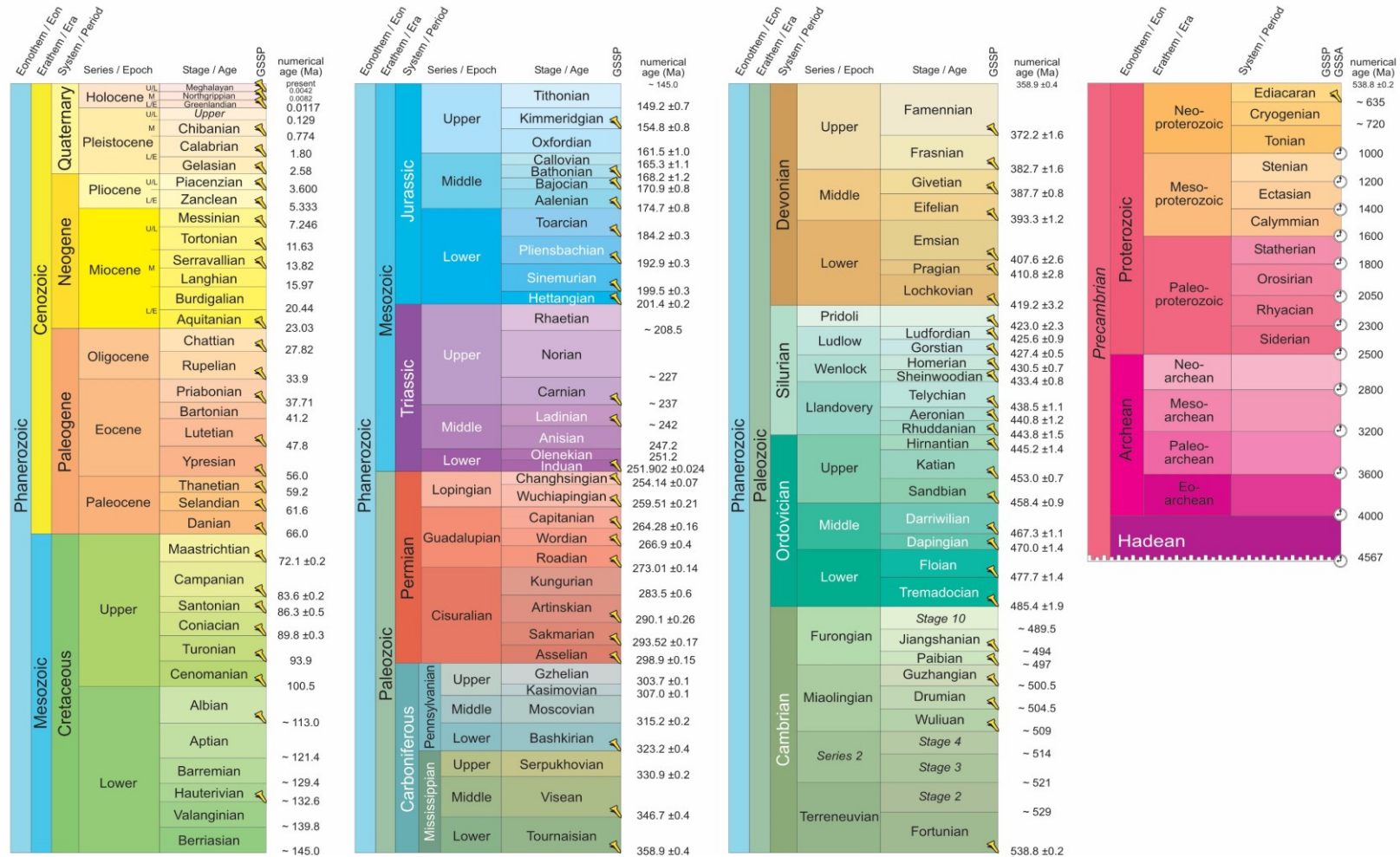


Abbildung 65: Tabelle Erdzeitalter (COHEN K. M., FINNEY S. C., GIBBARD, P. L. & FAN J.-X. (2013): International Commission on Stratigraphy (ICS)

Schema: Mittelozeanischer Rücken (MOR) oder konstruktive Plattengrenze

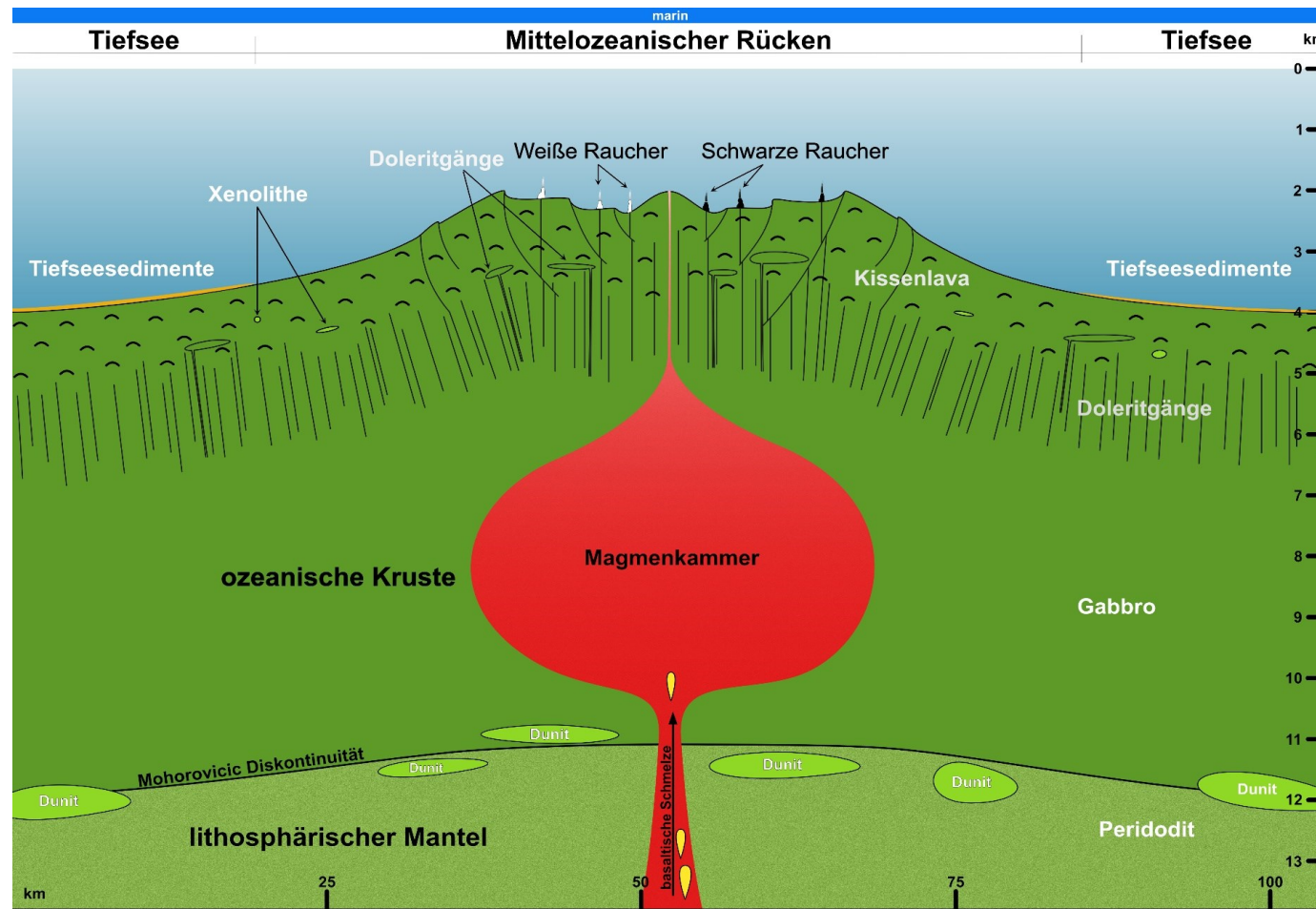


Abbildung 66: Mittelozeanischer Rücken (MOR) oder konstruktive Plattengrenze, bevor es zur Extrusion kommt. (nach FRISCH & MESCHÉDE 2013, verändert durch KORHERR 2024)

Schema: Aktiver Kontinentalrand oder destruktive Plattengrenze

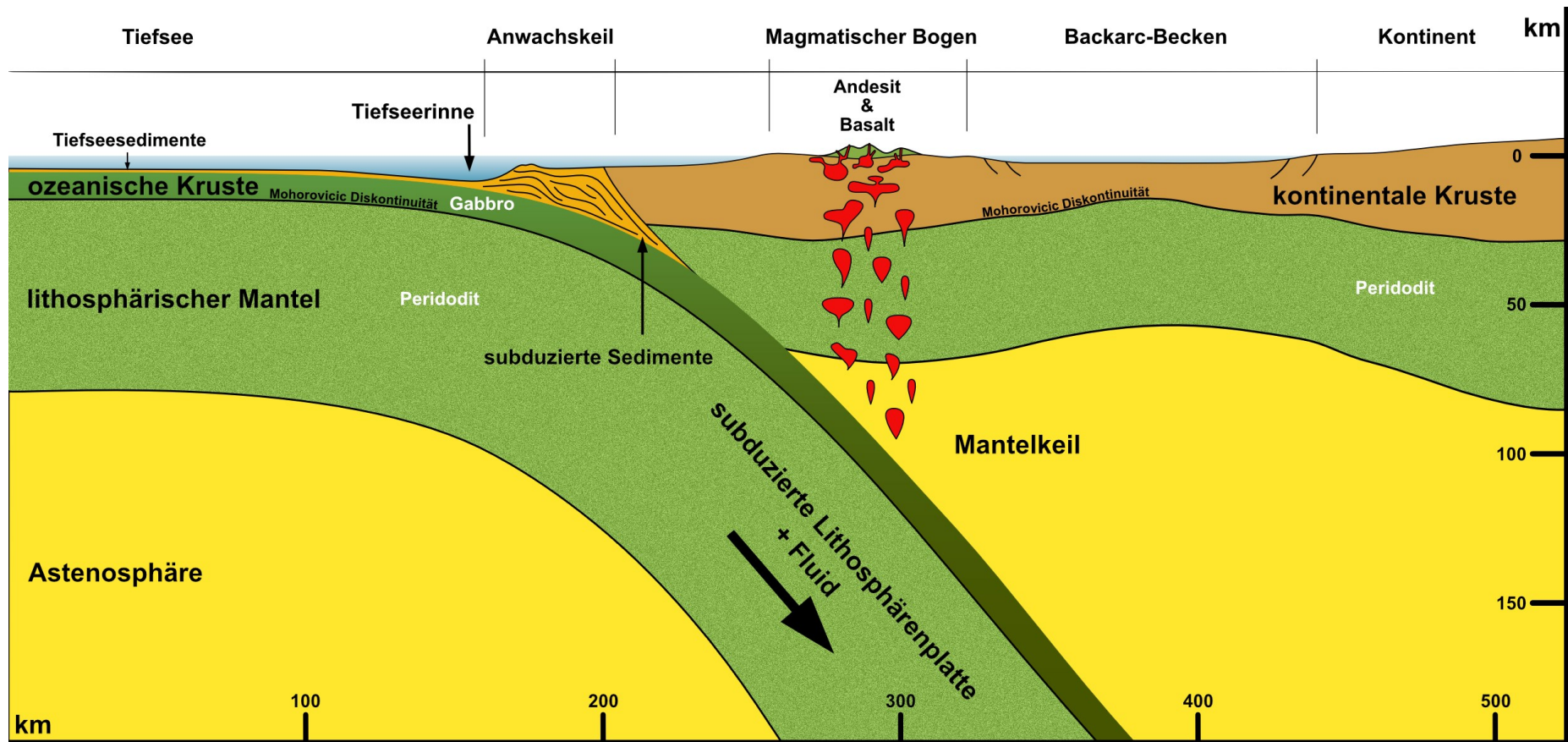


Abbildung 67: Aktiver Kontinentalrand oder destruktive Plattengrenze (FRISCH & MESCHÉDE 2013, verändert durch KORHERR 2024)

GLOSSAR

Alpidische Gebirgsbildung	Jüngste Orogenese (Oberkreide bis heute), die große Teile Österreichs geprägt hat. Tektonische Einheiten in Österreich sind das Ostalpin, Penninikum und Helvetikum.
Anatexis	Partielle Aufschmelzung von Gesteinen. Sie markiert den Übergang zum Magmatismus und entspricht in der Kruste dem oberen Ende der Metamorphose.
andesitische Schmelze	Andesitische Schmelzen sind intermediäre Schmelzen mit einem SiO ₂ -Gehalt zwischen 52 % und 63 % → siehe <i>Geochemische Klassifikation von Magmatiten</i> (Abbildung 63 im ANHANG).
äolisch	vom Wind transportiert
Archaikum	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
Asthenosphäre	Die Asthenosphäre liegt unterhalb der starren Lithosphären platten und ist Teil des duktilen oberen Erdmantels.
Asthenosphären-Keil (oder Mantelkeil)	Bereich des oberen Mantels eingekeilt zwischen der "schwimmenden" Lithosphären platte oberhalb und der in einer Subduktionszone abtauchenden Lithosphären platte unterhalb.
Ästuar	breiter Mündungsbereich eines Flusses
Augen	Als Augen werden widerstandsfähige Minerale – häufig Kalifeldspäte – in deformierten metamorphen Gesteinen bezeichnet, die als linsenförmige Strukturen enthalten sind. Typisches Gestein: Augengneis.
Bankung	Als Bankung wird eine sedimentäre Ablagerung bezeichnet, deren Mächtigkeit im Dezimeter- bis Meter-Bereich liegt.
basisch	Gesteine oder Schmelzen mit einem SiO ₂ -Gehalt zwischen 45 % und 52 % → siehe <i>Geochemische Klassifikation von Magmatiten</i> (Abbildung 63 im ANHANG).
Batholith	Batholithe sind großvolumige Gesteinskörper magmatischen Ursprungs, die am Ende einer Gebirgsbildung durch eine Abfolge von Intrusionen in der kontinentalen Erdkruste entstehen.
bimodaler Vulkanismus	Beschreibt das gemeinsame Auftreten von geochemisch unterschiedlichen Schmelzen, z.B. basaltischen (basischen) und rhyolithischen (sauren) in einem Vulkansystem.
biogenes Sediment	Sediment gestein das aus den (meist anorganischen) Überresten pflanzlicher und/oder tierischer Organismen (z.B. Korallen, Foraminiferen, Kieselalgen, ...) entstanden ist.

Blastese	besonderes Größenwachstum von Mineralen bei anhaltend hoher Temperatur nach dem Druck-Höhepunkt einer Metamorphose
Boudin	auseinandergerissenes Gesteinsstück, das seine Form aufgrund der Deformation (Zerrung) des Umgebungsgesteins erhält
Calcit-Kluft	Weiß bis hell gefärbte Adern in Karbonat gesteinen die mit dem Mineral Calcit gefüllt sind. Entstehen vor allem diagenetisch durch entweichende CaCO_3 -haltige Fluide.
chemisches Sediment	Sediment gestein das durch Ausfällung aus einer übersättigten Lösung gebildet wird (z.B. Steinsalz, Gips, ...)
D"-Schicht	Zone im untersten Mantel die an den Erdkern grenzt. Sie wird auch als "ultralow velocity zone" bezeichnet.
Devon	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter (Abbildung 65 im ANHANG)</i>
Diagenese	Prozess der Verfestigung von Lockersedimenten durch Kompaktion, Dehydrierung und Zementation zu Sediment gestein
Diapir	Ist eine Struktur aus fließfähigem Gesteinsmaterial, das aufgrund seiner vergleichsweise geringeren Dichte im Erdmantel (Hot-Spot) oder in der Kruste (z.B. Salz diapir) aufsteigt. Charakteristisch ist die außergewöhnliche Form, die an eine umgedrehte Birne erinnert.
Differentiation	Abtrennung einer Teilmenge von einer Gesamtmenge, wodurch sich die Zusammensetzung beider Teile verändert, z.B. nach Kristallisation bzw. Absonderung erster Minerale in einer Magmenkammer erfolgt der weitere Aufstieg einer chemisch veränderten Schmelze. Dieser Prozess führt zu einem stufenweisen Anstieg des SiO_2 -Gehalts in der Schmelze.
Doleritgang	Dolerit ist ein vulkanisches Gestein, das in Form von Gängen in der ozeanischen Kruste erstarrt. Chemisch ist es Basalt und Gabbro gleichzusetzen.
Dolomitisierung	Veränderung von Kalkablagerungen durch Mg-haltige Fluide während der Diagenese
duktile	bei höheren Temperaturen und Drucken dehnbar bzw. verformbar, ohne dass es zum Bruch kommt. Duktile Unterkruste \neq spröde Oberkruste
Einregelung	Längsachsen von Mineralen werden im Zuge tektonischer Bewegungen in Deformationsrichtung angeordnet.
Einsprengling	Einsprenglinge in einem vulkanischen Gestein sind mit freiem Auge sichtbare Kristalle in einer gleichförmigen Grundmasse.

Erdzeitalter	Die Erdgeschichte wird in vier große Erdzeitalter (Hadaikum, Archaikum , Proterozoikum und Phanerozoikum) eingeteilt, die sich wiederum in kürzere Zeitabschnitte unterteilen lassen (Abbildung 65 im ANHANG).
Erosion	Bezeichnet die flächige oder lineare (in Flüssen) Abtragung von Gestein durch Gravitation, Eis, Wasser oder Wind.
Evaporit	Ist ein chemisches Sedimentgestein , das unter ariden Bedingungen (beim Austrocknen einer Lagune) durch Ausfällung aus dem Meerwasser entsteht.
Extrusion	Austritt von Magma sowohl subaerisch (aus Vulkanen) als auch subaquatisch (Mittelozeanische Rücken)
feinkörnig	→ siehe <i>Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten</i> (Abbildung 62 im ANHANG)
Fiamme	charakteristische linsenförmige Glas-Stückchen in Ignimbriten
Fingernageltest	Bei Wechsellagerung von verschiedenen Materialien tritt die verwitterungsresistentere Lage hervor, die leichter verwitternde Lage bildet Furchen. Auch geringe Unebenheiten lassen sich mithilfe eines Fingernagels feststellen.
Flutbasalt	Im Laufe der Erdgeschichte kam es mehrfach zu erhöhten Förderraten von Hot-Spots , deren Edukte als Flutbasalte große Gebiete bedeckt haben.
fluvial	von einem Fließgewässer geprägt; in einem Fließgewässer transportiert, sedimentiert ...
Fossilien	(meist anorganische) Überreste pflanzlicher oder tierischer Organismen
Geröll	→ siehe <i>Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten</i> (Abbildung 62 im ANHANG)
Gesteinsklasse	unterscheidet Gesteine nach ihrer Entstehungsart in magmatische , metamorphe oder sedimentäre Gesteine
Gesteinstextur	bezieht sich auf die Orientierung der Minerale zueinander. Es werden magmatische Gesteine OHNE Mineral regelung und metamorphe (geschieferte) Gesteine MIT Mineral regelung unterschieden
Gesteinstyp	unterscheidet Magmatite entsprechend ihrer Textur (in vulkanische und plutonische) und Sedimente gemäß ihres Ausgangsmaterials
glasig	nicht kristallin, amorph

gradierte Schichtung	grobkörnig an der Basis einer Bank, gegen Hangend feinkörniger werdend - bei inverser Gradierung umgekehrt.
grobklastisch	→ siehe <i>Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten</i> (Abbildung 62 im ANHANG)
grobkörnig	→ siehe <i>Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten</i> (Abbildung 62 im ANHANG)
Grundgebirge	ein im Zuge vorangegangener Gebirgsbildungen entstandener (metamorpher) Gesteinskomplex, der die Basis für jüngere Sedimente bildet, Basement im engl. Sprachgebrauch.
Hot-Spot	besonders heißer, lokal begrenzter, örtlich stabiler Bereich des Erdmantels, der durch vermehrte vulkanische Aktivität auf der darüber liegenden Erdkruste erkennbar ist
intermediär	Gesteine oder Schmelzen mit einem SiO ₂ -Gehalt zwischen 52 % und 63 % → siehe <i>Geochemische Klassifikation von Magmatiten</i> (Abbildung 63 im ANHANG).
intrakontinentales Rift	langgestreckte Dehnungsstruktur in der kontinentalen Kruste, die zur Ausdünnung der Kruste und zur Bildung eines Grabens führt.
intramontanes Becken	ein gegen Ende einer Orogenese tektonisch (durch Zerrung) innerhalb des Gebirges entstandenes Becken
Intraplattenvulkanismus	Vulkansystem abseits von Plattengrenzen, das in Zusammenhang mit Hots-Spots steht
Intrusion	Eindringen und Platznahme von Magma in die vorhandene Erdkruste
Intrusivgestein	Intrusivgesteine (= Plutonite) entstammen Schmelzen, die in die Kruste eingedrungen oder dort in-situ gebildet worden sind, langsam auskühlen und dabei vollständig auskristallisieren.
Jura	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
Karbon	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
Karbonat	Karbonate entstehen mehrheitlich durch chemische Ausfällung von CO ₃ ²⁻ mit diversen Kationen (Ca ²⁺ , Mg ²⁺). Im Flachwasserbereich ist eine Beteiligung von Organismen, die ihre Schalen aus CaCO ₃ aufbauen häufig. Daraus resultierende Gesteine sind z.B. Kalkstein oder Dolomit.
Karbonat-Kompensationstiefe (CCD)	Grenzschicht in der Tiefsee unterhalb derer keine Karbonate abgelagert werden können, weil aufgrund des

	dort herrschenden höheren CO ₂ -Partialdruckes die Auflösung den Eintrag übersteigt.
Kataklasit	Bezeichnet Gesteine der spröden Oberkruste, die durch starke mechanische Beanspruchung zerbrochen und zerrieben wurden. Sie bestehen aus gröberen, eckigen Gesteinsbruchstücken und einer fein zerriebenen Matrix .
kavernös	von Hohlräumen durchsetzt
klastisches Sediment	Sediment gestein, das sich aus Detritus (abgetragenem Material) zusammensetzt. Größe und Sortierung der Komponenten können stark variieren (von Mineral - bis Gesteinsbruchstücken) und sind für die jeweilige Gesteinsart charakteristisch.
Kluft	Klüfte sind flächige Diskontinuitäten in Gesteinen, die durch Kontraktion (im Zuge von Abkühlung), Tektonik (Dehnung oder Scherung) oder Lösung (Karst) bedingt sein können. Sie sind offen, denn Wasser durchfließt sie.
Konkretion	unregelmäßig geformtes, knolliges Aggregat aus Mineralen , das durch Ausfällung vor allem im Zuge der Diagenese entsteht.
Kontaktthof	unmittelbar benachbartes Nebengestein einer magmatischen Intrusion , in dem es aufgrund von Temperaturanstieg (und eventuell Fluiden) zu einer metamorphen Überprägung kommt.
Kontinentalabhang	stark abfallender Randbereich der Kontinente am Übergang vom kontinentalen Schelf zur ozeanischen Kruste der Tiefsee.
kontinentale Kruste	Die kontinentale Erdkruste besteht im Gegensatz zur ozeanischen Kruste vorwiegend aus intermediären und sauren Magmatiten, Sedimenten und Metamorphiten . Sie besteht aus einer spröden Ober- und duktilen Unterkruste. Ihre mittlere Mächtigkeit liegt um 35 und erreicht im Himalaya ihr Maximum mit 80 km.
Kontinentalrand	Randbereich der kontinentalen Kruste an der Grenze zu ozeanischer Kruste; ein aktiver Kontinentalrand (Subduktionszone) stellt eine Plattengrenze dar; ein passiver Kontinentalrand ist die Grenze an der vormals (im Riftstadium) die ausgedünnte kontinentale Kruste endgültig aufgerissen ist und der Bildung ozeanischer Kruste Platz gemacht hat.
Korngrenze	Eine Korngrenze ist die Grenzfläche zwischen zwei benachbarten Mineralen .
Korngröße	Beschreibt die Größe eines Minerals , bei klastischen Sedimenten auch die von Gesteinsfragmenten.
Kraton	Kratone sind geologisch sehr alte (präkambrische) Gebiete eines Kontinents, die keine Überprägung erfahren haben.

Kreide	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter (Abbildung 65 im ANHANG)</i>
Kreide (Gestein)	feinkörniges, z.T. biogenes Sediment vorwiegend aus Kalkalgen und Kalkschlämmen aufgebaut
lakustrin	Ökosystem, Ablagerungsmilieu... bezogen auf Süßwasser-Seen, Stillwasser geprägt
limnisch	Ökosystem, Ablagerungsmilieu... bezogen auf Süßwasser-Seen, Stillwasser geprägt
Lithosphäre	Die Lithosphäre (Lithosphärenplatte) besteht aus kontinentaler und/oder ozeanischer Kruste und dem obersten, starren Teil des Erdmantels, dem lithosphärischen Mantel.
Magma	geschmolzenes Gestein, das sich in der Kruste in Magmenkammern sammelt, auskühlt und kristallisiert, oder bei Vulkanausbrüchen an die Erdoberfläche tritt.
Magmenkammer	periodisch mit Magma nachgefüllter Bereich von magmatischen Systemen in der Erdkruste
magmatischer Bogen	Vulkanbogen auf dem Kontinent (≠ Inselbogen im Meer), der in Verbindung mit einer Subduktionszone auftritt
Magmatit	Gestein magmatischen Ursprungs, also aus einer Schmelze entstanden, kommt als Plutonit (intrusiv) oder Vulkanit (extrusiv) vor.
massig	Gesteine ohne erkennbare Mineral regelung oder Schichtung
Matrix	mit freiem Auge nicht differenzierbare Grundmasse, d.h. makroskopisch (mit freiem Auge) sind keine Minerale erkennbar
Mesozoikum	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter (Abbildung 65 im ANHANG)</i>
Metabasit	Überbegriff für metamorphe basische Gesteine
Metamorphit	Gesteinsklasse , in deren Ausgangsmaterialien (magmatische , sedimentäre und auch bereits metamorphe Gesteine) Veränderungen der Druck- und Temperaturbedingungen zu Mineral reaktionen und damit zur Bildung neuer Minerale geführt haben. Bei Deformation werden diese Minerale zudem in Richtung der tektonischen Beanspruchung eingeregelt.
Metamorphosefazies	ein Temperatur- und Druckbereich, der durch eine bestimmte Paragenese charakterisiert wird. Ein typisches Mineral einer Metamorphosefazies wird Index- Mineral genannt.

Metamorphosetypen	Es werden vier Metamorphosetypen , (d.h. Metasomatose, Regional-, Kontakt- und Hochdruck-Metamorphose) unterschieden, deren Druck- und Temperaturänderungen unterschiedlichen Verläufen folgen. Sämtliche Metamorphose-Pfade laufen prograd (bei steigenden P/T-Bedingungen) und retrograd (bei sinkenden P/T-Bedingungen) ab.
mikritisch	feinkörniges (Karbonat)
Mineral	Ein Mineral ist ein natürlicher Feststoff, dessen Aufbau auf der Wiederholung einer bestimmten Kristallstruktur beruht. Die Kristallflächen der meisten Minerale glänzen bei Lichteinfall auf. Diese Eigenschaft ist an frischen Bruchflächen von Gesteinen bei Glimmern, Feldspäten, ... zu beobachten.
Miozän	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter (Abbildung 65 im ANHANG)</i>
Mittelozeanischer Rücken	konstruktive Plattengrenze an der neue ozeanische Kruste entsteht
MOHO	Nach dem kroatischen Geophysiker Mohorovičić benannte Grenzfläche/Diskontinuität zwischen Kruste und lithosphärischem Mantel.
Moldanubikum	bei der Variszischen Orogenese angegliedertes Terrane, heute tektonische Einheit .
Moräne	Ablagerung aus unsortiertem Lockermaterial, das von Gletschern transportiert und zurückgelassen wurde.
Moravikum	tektonische Einheit , die im Osten an das Moldanubikum angrenzt und gemeinsam mit dieser die Böhmisches Masse bildet
Ordovizium	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter (Abbildung 65 im ANHANG)</i>
Orogenese	Gebirgsbildungsphase bei der ein Orogen (Gebirgszug) entsteht. Phanerozoische Orogenesen in Österreich: cadomische -, cenerische -, variszische -, alpidische Orogenese .
ozeanische Kruste	Ozeanische Kruste wird an Mittelozeanische Rücken gebildet und ist chemisch gesehen sehr homogen (basisch). Sie besitzt eine Mächtigkeit von 5 - 8 km.
Paläozoikum	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter (Abbildung 65 im ANHANG)</i>
Paragenese	Vergesellschaftung verschiedener Minerale , die stabil koexistieren. Erst die Änderung der P- und T-Bedingungen könnte dazu führen, dass Minerale miteinander reagieren .

pegmatitisch	sehr grobkörnig, meist in Gängen kristallisierend
pelagisch	vom Festland entfernt, Sedimente beinhalten nur noch Reste von in der Wassersäule lebenden Organismen (Plankton) und feinklastisches Sediment
Penninikum	Ist eine tektonische Einheit der Alpen, die im Jura als Seitenast des sich öffnenden Atlantiks entstanden ist und im Zuge der alpidischen Orogenese subduziert wird.
Perm	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
Phänokristalle	→ siehe <i>Einsprenglinge</i>
photische Zone	oberste, lichtdurchflutete Wassersschicht (je nach Wellenlänge bis max. 150m)
phreatomagmatischer Vulkanismus	Vulkanismus der durch externes Wasser (Grundwasser, Meerwasser...) beeinflusst ist
physikalische Verwitterung	Lockerung des Gesteinsverbundes und mechanische Zerkleinerung von Gestein durch exogene Faktoren wie Wasser, Wind, Frost, Temperaturschwankungen, ...
Pliozän	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
Plutonit	→ siehe <i>Intrusivgestein</i>
Porphyroblasten	Überbegriff für Minerale , die deutlich größer gewachsen sind als die Minerale des restlichen Gefüges. z.B. Phänokristalle in Vulkaniten oder präferentielles Wachstum in metamorphen Gesteinen.
Porphyroklasten	resistente Minerale bzw. Gesteinsfragmente die sich deutlich von der feinkristallinen Matrix metamorpher Gesteine unterscheiden
Präkambrium	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
prograde Metamorphose	steigende Druck(P)- und Temperatur(T)-Bedingungen während einer Metamorphose
Proterozoikum	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
Regression	bezeichnet die Verlagerung der Küstenlinie in Richtung Meer bei Sinken des Meeresspiegels; Gegenteil: Transgression

Rekristallisation	Umbau, Neuordnung und Anpassung des Kristallgitters an ein Stressfeld bei Druck- und Temperatur-Änderungen im Zuge einer Metamorphose.
Restschmelze	letzte, am weitesten differenzierte (vergleichsweise sehr SiO ₂ reiche) pegmatitische Schmelze
retrograde Metamorphose	sinkende Druck(P)- und Temperatur(T)-Bedingungen während einer Hebung (bei Gebirgsbildung)
sauer	Gesteine oder Schmelzen mit einem SiO ₂ -Gehalt über 63 % → siehe <i>Geochemische Klassifikation von Magmatiten</i> (Abbildung 63 im ANHANG).
Schelf	Ausgedünnter Anteil kontinentaler Kruste der vom Kontinentalabhang begrenzt wird. Flachwasserbereich bis in ca. 200m Wassertiefe, der während Eiszeiten trockenfallen kann.
Schichtung	Schichtung entsteht bei der Ablagerung von Sedimenten durch Unterschiede in Korngröße , Material, Oxidationsbedingungen, Fossilien gehalt..., bei Veränderung von Sedimentationsraten bzw. der Menge an zur Verfügung stehendem Material (bis hin zur Unterbrechung in der Sedimentation).
Schieferung	mehr oder weniger straffe Mineraleinregelung , verursacht durch Deformation, während einer Metamorphose
Schildvulkan	Vulkantyp der aufgrund von sehr niederviskoser, basaltischer Lava nur sehr flache Schultern aufweist (z.B. Mauna Loa auf Hawaii)
Schluff	→ siehe <i>Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten</i> (Abbildung 62 im ANHANG)
Schotter	→ siehe <i>Korngrößenverteilung von Magmatiten und Sedimenten</i> (Abbildung 62 im ANHANG)
Schwemmkegel	Schwemmkegel bezeichnet einen durch Fließgewässer verursachten Ablagerungskörper aus klastischen Sedimenten aufgrund eines Gefälleknicks.
Sediment	Gesteinsklasse der Ablagerungsgesteine, die in biogene , chemische und klastische unterteilt wird.
sedimentäre Strukturen	Formen und Strukturen in Sedimenten die auf physikalische (z.B. Strömungsrippel, ...) oder biogene Einflüsse (z.B. Grabtätigkeiten ...) zurückzuführen sind.
Silikat	Erdkruste und Erdmantel werden zum überwiegenden Teil aus silikatischen Mineralen aufgebaut, deren Strukturen auf (unterschiedlichen) Anordnungen von SiO ₄ -Tetraedern basieren.
sparitisch	grobkörniges Karbonat (oft nach Rekristallisation)

Speichergestein	Sediment gestein, das aufgrund seiner Porosität als Lagerstätte für fossile Rohstoffe (z.B. Erdgas, Erdöl, usw.) dient
Stratigraphie	Disziplin, die sich mit der Korrelation und zeitlichen Einordnung von Sedimenten beschäftigt.
Stressfeld	Aufbau von Scherspannung im Gesteinsgefüge durch (platten-) tektonische Prozesse führt zu Deformation
subaerisch	unter Luft befindlich, beschreibt Prozesse, die sich an der Erdoberfläche vollziehen
subaquatisch	unter Wasser befindlich, beschreibt Prozesse, die sich unter Wasserbedeckung vollziehen
Subduktionszone	Bereich in dem eine (dichtere) ozeanische Lithosphären platte in den Mantel abtaucht.
Subvulkanit	magmatisches Ganggestein welches in geringer Tiefe (wenige km unter der Oberfläche) in Gängen bzw. Schloten erstarrt
tektonische Einheit	Gesteinspaket, das im Zuge von geodynamischen Prozessen (Orogenesen) meist als Decken transportiert worden ist.
tektonische Vorgänge	bezeichnen geodynamische Prozesse, die zu großräumiger Zerschörung, Verformung und dem Transport von Teilen der Erdkruste führen.
Tertiär	alte Bezeichnung für Paläogen und Neogen → siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
Tethys	mesozoisch ozeanischer Bereich
Transgression	bezeichnet das Vorrücken der Küstenlinie in Richtung Festland durch einen Anstieg des Meeresspiegels; Gegenteil: Regression
Trias	→ siehe <i>Übersicht Erdzeitalter</i> (Abbildung 65 im ANHANG)
Turbidite	gradierte Ablagerung von Trübeströmen am Fuß der Kontinentalabhänge in der Tiefsee (gelegentlich auch in Seen).
ultrabasisch	Gesteine oder Schmelzen mit einem SiO ₂ -Gehalt unter 45 % → siehe <i>Geochemische Klassifikation von Magmatiten</i> (Abbildung 63 im ANHANG).
Variszische Gebirgsbildung	jungpaläozoische Orogenese , die zur Bildung des Superkontinents Pangäa geführt hat. Anteile in Österreich: Moldanubikum . Subduzierte Ozeane: unter anderem Rheischer- und Moldanubischer Ozean.

Vulkanit	magmatisches Gestein, das durch schnelles Erkalten beim subaerischen (aus Vulkanen) oder subaquatischen (Mittelozeanische Rücken) Austritt gekennzeichnet ist
Xenolith	Bruchstück eines Fremdgesteins, das beim Aufdringen magmatischer Schmelzen aus dem Nebengestein herausgelöst und mitgerissen wird.